



## Pengembangan Sistem *Digital Image Colorimetry* (DIC) Untuk Pemantauan Polutan Nitrogen di Perairan Laut dan Sungai



Adella Mulia Ramadhani<sup>1,\*</sup>, Mukti Dono Wilopo<sup>1</sup>, Yar Johan<sup>1</sup>,  
Firdha Iresta Wardani<sup>1</sup>, M. Lutfi Firdaus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu

<sup>2</sup>Graduate School of Science Education, Universitas Bengkulu

\*Email: adellamulia02@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.9.3.794-800>

### ABSTRACT

*The presence of ammonia in waters needs to be monitored because of its toxic nature, especially in the form of free ammonia (NH<sub>3</sub>). High concentrations of free ammonia can disrupt the balance of aquatic ecosystems, reduce dissolved oxygen levels, inhibit the growth of aquatic organisms, and even cause mass mortality in fish and other biota. The purpose of this study is to build the Digital Image Colorimetry system for detecting ammonia and assess the accuracy of the DIC method compared to the well-known established spectrophotometric method. Analysis from 5 locations of saline water, salinity and pH levels were still within normal limits, ranging from 33-34 ppt for salinity, while pH is 7.5-7.9. The ammonia content at the sampling point was still considered safe, in accordance with the quality standard (0.3 ppm). The results of ammonia concentration measurements using the DIC method and the spectrophotometric method show a negligible level of difference and have an accuracy value above 90%. These findings indicate that DIC can be used as an alternative method for measuring ammonia, especially for rapid analysis in the field.*

**Keywords:** Amonia; Seawater; Digital Image Colorimetry; Spectrophotometry.

### ABSTRAK

Keberadaan amonia di perairan perlu terus dimonitor karena sifatnya yang toksik, terutama dalam bentuk amonia bebas (NH<sub>3</sub>). Tingginya konsentrasi amonia bebas dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, menurunkan kadar oksigen terlarut, menghambat pertumbuhan organisme akuatik, bahkan menyebabkan kematian massal pada ikan dan biota lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem *Digital Image Colorimetry* untuk deteksi amonia. Menilai akurasi metode DIC dibandingkan dengan metode spektrofotometri. Dari 5 lokasi kadar salinitas dan pH masih rentan normal berkisar antara 33-34 ppt untuk salinitas, sedangkan pH 7,5-7,9. Kandungan amonia pada titik pengambilan sampel masih termasuk aman yaitu sesuai dengan baku mutu (0,3 ppm) untuk baku mutu amonia. Hasil perbandingan konsentrasi amonia menggunakan metode DIC dan metode spektrofotometri menunjukkan tingkat perbedaan yang sangat kecil dan memiliki nilai akurasi diatas 90%. Dari lima lokasi pengambilan sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi teknologi DIC cukup tinggi dan nilai konsentrasi yang diperoleh sangat mendekati metode spektrofotometri, sehingga DIC dapat dijadikan metode alternatif untuk pengukuran amonia, terutama dalam analisis cepat di lapangan.

**Kata Kunci:** Amonia; Air Laut; Digital Image Colorimetry; Spektrofotometri.

## PENDAHULUAN

Senyawa anorganik yang berasal dari senyawa nitrogen-hidrogen yang bersumber dari alam dan proses pembentukan oleh manusia (Alkindi et al., 2023). Eutrofikasi dapat berlangsung dengan cepat akibat keberadaan aktivitas-aktivitas manusia dalam pembangunan yang menghasilkan limbah anthropogenik yang masuk ke badan perairan (Yusal et al., 2025). Peningkatan konsentrasi senyawa di lingkungan perairan dapat disebabkan oleh aktivitas manusia seperti penggunaan pupuk, limbah industri, dan pembuangan limbah domestik. Peningkatan kadar senyawa-senyawa ini dapat menyebabkan eutrofikasi, yang berdampak buruk pada biota-biota laut. Menurut Mustofa (2015) Amonia merupakan salah satu bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan untuk melihat kualitas perairan.

Nilai pH merupakan salah satu parameter kimia penting yang digunakan untuk menggambarkan sifat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Nilai pH berperan sebagai indikator utama dalam menentukan kualitas lingkungan perairan karena dapat mempengaruhi berbagai proses kimia, fisika, dan biologi yang berlangsung di dalamnya. (Safitri et al., 2009) Mengatakan untuk pH air laut berkisar antara 7,6-8,3 yang berarti bersifat basa, akan tetapi dalam kondisi tertentu dapat berubah menjadi rendah yang bersifat asam.

Salinitas air laut memiliki peran penting. Salinitas merupakan salah satu parameter penting dalam kajian oseanografi dan kualitas perairan. Nilai salinitas rata-rata perairan laut global berkisar sekitar 35 ppt, namun dapat bervariasi tergantung pada kondisi geografis, iklim, dan masukan dari lingkungan sekitar. Menurut Yolanda (2023) salinitas merupakan parameter kunci yang paling penting untuk mengontrol komponen biologis, ekosistem, muara dan laut. Salinitas yang melampaui baku mutu akan berdampak buruk pada pola distribusi biota.

Kepekaan spektrofotometri terhadap perubahan konsentrasi senyawa menjadikannya ideal untuk mengukur amonia dalam air. Selain itu, dengan spektrofotometer ini mampu menghasilkan data dengan akurasi tinggi dan mampu mendeteksi amonia pada kadar rendah. menurut Yohan (2018), spektrofotometer merupakan instrumen penting dalam analisis

kimia. Instrumen ini digunakan untuk menguji sampel tertentu yang berorientasi pada pengukuran kualitatif dan kuantitatif.

*Digital Image Colorimetry* (DIC) muncul sebagai metode alternatif untuk mengukur konsentrasi senyawa kimia dalam sampel air. Dengan memanfaatkan kamera digital, *Digital Image Colorimetry* (DIC) menginterpretasi perubahan warna dalam larutan yang disebabkan oleh reaksi kimia tertentu, menurut Dinata et al., (2019) Metode analisis citra digital menggunakan data RGB (*Red, Green, Blue*), perluasan data sistem warna yang disebut pantulan cahaya dari suatu benda dengan rentang nilai 0 hingga 255 satuan. Pantulan cahaya dari suatu objek dibaca oleh *charge-coupled device* (CCD) pada kamera digital.

Metode DIC memiliki kelebihan yaitu efisien untuk analisis kimia di berbagai kondisi. Sama halnya menurut Firdaus et al. (2014) beberapa kelebihan DIC yang digunakan adalah ramah lingkungan, *portabel*, ekonomis dan juga sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode *Digital Image Colorimetry* untuk deteksi amonia dan menilai akurasi metode DIC di bandingkan dengan metode spektrofotometri.

## METODE PENELITIAN

### *Waktu dan Lokasi Penelitian*

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu. Penelitian dilakukan pada bulan Juni sampai September 2025 dengan lokasi sampling dari sekitar Pantai Panjang yang terhubung langsung dengan Samudera Hindia dan dianalisis lebih lanjut di laboratorium Ilmu Kelautan, Universitas Bengkulu.

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dan metode kuantitatif untuk menganalisis kadar amonia, dengan dua pendekatan utama yaitu spektrofotometri dan *Digital Image Colorimetry* (DIC). Metode analisis data DIC menggunakan analisis *Univariat* yang bertujuan untuk menganalisis salah satu saluran warna saja seperti *Red, Green*, atau *Blue* saja.

### Pengujian Menggunakan Spektrofotometer

Dalam penelitian ini, pengujian amonia dilakukan dengan metode analisis yang mengikuti standar yang telah ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI). Metode SNI 06-6989.30-2005 air dan limbah bagian 30: Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat. Alat spektrofotometer UV-Vis yang digunakan adalah SPECTROstar Nano dari BMG Labtech, Germany.

### Pengujian Menggunakan Digital Image Colorimetry (DIC)

1. Penambahan Reagen Kimia.
2. Perekaman Gambar dalam Mini Studio Box.
3. Analisis Warna dengan *ImageJ*

### Analisis Data Parameter Salinitas dan pH

Parameter salinitas dan pH merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan karakteristik suatu perairan. Pengukuran salinitas dan pH dilakukan secara in situ menggunakan alat refraktometer untuk salinitas dan pH meter untuk mengukur pH pada setiap titik pengambilan sampel.

### Analisis Data Amonia Menggunakan Metode Spektrofotometri Dan Metode DIC

Analisis data dalam penelitian ini melibatkan pengambilan gambar sampel menggunakan kamera *smartphone*, kemudian mengekstraksi nilai warna dalam format RGB. Data warna tersebut dianalisis dan dibandingkan dengan data spektrofotometri. Selanjutnya, dilihat nilai akurasi pada kedua metode ini guna mengetahui apakah metode DIC ini mampu mendeteksi amonia yang akan diimplementasikan dalam aplikasi berbasis *smartphone* untuk mengukur amonia secara cepat dan efisien.

### Analisis Akurasi Data Antara Spektrofotometri dan DIC

Akurasi sendiri merupakan kesesuaian antara nilai kuantitas yang diukur dengan nilai yang sebenarnya. Untuk melihat seberapa dekat hasil pengukuran antara metode DIC dan Spektrofotometer ini dapat dihitung dengan cara membandingkan metode yang dikembangkan (DIC) terhadap metode yang sudah diakui selama ini, yaitu Spektrofotometer.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisi Parameter Salinitas dan pH Air Laut

Pengukuran parameter air laut berupa salinitas dan pH dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan alat ukur Refraktometer dan pH meter. Data diambil bersamaan dengan pengambilan sampel air laut dan sungai yang kemudian dianalisis kandungan amonia. Nilai salinitas dan pH dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Salinitas dan pH

No	Lokasi Sampling	Salinitas (ppt)	pH
1.	Pantai Panjang	33	7,9
2.	Jembatan Kualo	0	7,6
3.	Muara Kualo	0	7,5
4.	Teluk Sepang	34	7,8
5.	Pulau Baai	33	7,7

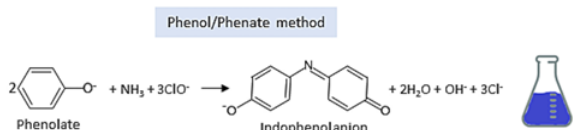
Berdasarkan dari hasil pengukuran, salinitas di lokasi penelitian menunjukkan nilai antara 0 ppt (lokasi sungai) hingga 34 ppt (lokasi laut). Nilai 33 sampai 34 ppt ini masih berada dalam batas normal salinitas air laut. Wang *et al.* (2025) mengatakan bahwa kadar salinitas yang normal untuk air laut berkisar antara 32-36 ppt. Salinitas yang berada di bawah 28 ppt atau di atas 37 ppt akan berdampak negatif bagi perairan tersebut. Menurut I Patty *et al* (2020) rendahnya salinitas di perairan menunjukkan adanya pengaruh dari daratan seperti pencampuran air tawar yang terbawa aliran sungai, hal ini terlihat dari lokasi Jembatan Kualo yang merupakan lokasi sampling air sungai serta Muara Kualo yang juga didominasi oleh aliran sungai.

Dalam konteks kualitas lingkungan perairan, pH berfungsi sebagai indikator penting yang dapat menunjukkan kondisi suatu perairan. Nilai pH sangat berpengaruh pada biota laut. Menurut (I Patty *et al.*, 2020) tingginya nilai pH sangat menentukan dominasi fitoplankton yang mempengaruhi tingkat produktivitas primer suatu perairan dimana keberadaan fitoplankton didukung oleh ketersediaannya nutrisi di perairan laut. Hasil pengukuran pH di lokasi penelitian dimana relatif lebih stabil yang berkisar antara 7,7-7,9. Hasil menunjukkan bahwa kondisi lokasi perairan masih tergolong bagus untuk perairan laut, menurut Hamuna, *et al* (2018) kondisi perairan yang sangat basa dan sangat asam dapat

membahayakan bagi kehidupan biota maupun kehidupan organisme, karena dapat mengganggu proses metabolisme. Sementara itu menurut Kepmenlh No.51 tahun 2004, nilai optimal pH untuk biota laut berkisar antara 7,0- 8,5.

### Penentuan Kurva Kalibrasi Amonia Menggunakan Spektrofotometri

Pengukuran konsentrasi amonia pada air laut dalam penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) melalui metode spektrofotometri. pengukuran dilakukan berdasarkan metode fenat dengan menggunakan panjang gelombang maksimum sebesar 640 nm. Prinsip metode pada uji fenat ini yaitu fenol akan berubah menjadi bentuk anion menjadi fenolat. Ketika sampel yang mengandung amonia ( $\text{NH}_3$ ) direaksikan dengan hipoklorit ( $\text{OCl}^-$ ), mula-mula terbentuk senyawa berupa monokloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ). Monokloramina ini kemudian bereaksi dengan fenolat, dan selanjutnya mengalami oksidasi lebih lanjut oleh hipoklorit sehingga menghasilkan senyawa indofenol biru, yaitu senyawa berwarna biru-hijau, seperti pada Gambar 1.

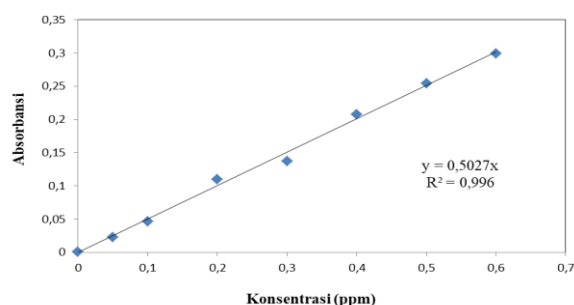


**Gambar 1.** Reaksi Uji Amonia menggunakan metode fenat (Edwards et al., 2024).

Untuk memperoleh data yang akurat, dilakukan pengukuran absorbansi larutan standar amonia dengan konsentrasi bertingkat, yaitu 0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; dan 0,6 ppm. Dengan demikian, sampel air laut yang diukur dapat dihitung kandungan amonia berdasarkan persamaan regresi dari kurva standar tersebut.

Berdasarkan hasil absorbansi UV-Vis yang ditunjukkan pada Gambar 1, terlihat bahwa nilai kurva kalibrasi antara konsentrasi dan absorbansi menunjukkan nilai  $R^2$  yang relatif tinggi dan mendekati 1 sehingga model regresi linier mampu menjelaskan hampir seluruh variasi data yang diperoleh. Sama halnya menurut Riwanti *et al.*, (2020) nilai R yang baik terletak pada nilai yang mendekati 1. Dengan demikian,

dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara peningkatan konsentrasi dengan perubahan nilai absorbansi, sesuai dengan Rusmawan (2011), Absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi yang artinya semakin besar nilai konsentrasi larutan maka warna yang dihasilkan akan semakin tajam dan intensitas cahaya yang diserap oleh larutan berwarna akan semakin besar sehingga nilai absorbansi menjadi bertambah besar, maka, dari hasil pengukuran nilai absorbansi terlihat adanya peningkatan nilai absorbansi seiring bertambahnya konsentrasi larutan standar.

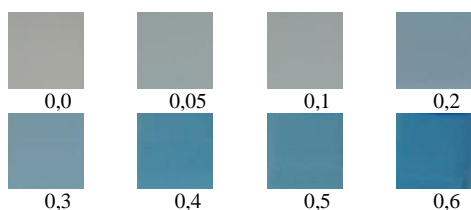


**Gambar 1.** Grafik konsentrasi larutan standar amonia (ppm) dengan metode spektrofotometri.

### Analisis Standar Konsentrasi Amonia Menggunakan DIC

Penentuan standar konsentrasi pada pengujian amonia menggunakan metode *Digital Image Colorimetry (DIC)* dilakukan Konsentrasi standar yang digunakan ditetapkan secara bertingkat, yaitu 0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; dan 0,6 ppm, seperti pada Gambar 2.

Analisis kuantitatif amonia secara *Digital Image Colorimetric (DIC)* yang dilakukan dengan cara mengolah komponen warna RGB (*Red, Green, Blue*). Menurut Kusumawan (2015) nilai RGB sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor saat pengambilan foto, seperti tingkat pencahayaan, keseimbangan warna, jenis sumber cahaya, serta pantulan cahaya dari objek dan kamera. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan terjadinya kesalahan ketika warna yang sama dibandingkan antara satu gambar dengan gambar lainnya. Sedangkan untuk mendapatkan nilai pada masing-masing komponen warna RGB digunakan aplikasi *ImageJ*.



**Gambar 2.** Hasil Pengambilan citra digital sampel pada berbagai konsentrasi amonia menggunakan kamera *Smartphone*.

### Analisis Intensitas Pada Konsentrasi RGB

Nilai intensitas warna menggambarkan respons optik dari reaksi kimia antara pereaksi dengan amonia dalam sampel. Prinsip kerja alat yang dirancang didasarkan pada hukum Lambert-Beer, yang mengatakan bahwa ketika cahaya dengan panjang gelombang tertentu melewati suatu larutan atau sampel, sebagian dari cahaya tersebut akan diserap, jumlah cahaya yang diserap berbanding lurus dengan konsentrasi larutan yang dianalisis (Hidayat, 2016). Hasil RGB yang terekam kemudian dikonversi menjadi nilai intensitas melalui penerapan persamaan Lambert-Beer, nilai RGB awal dikonversi ke rasio logaritma sesuai dengan rumus Lambert-Beer sebagai berikut:

$$I_R = \log \frac{R_0}{R_t}$$

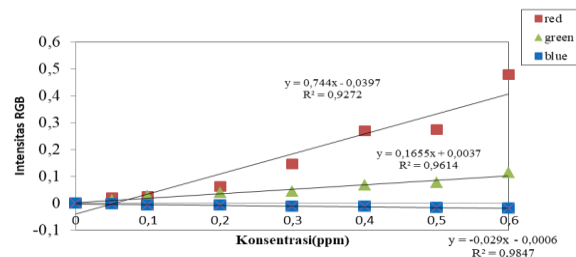
$$I_G = \log \frac{G_0}{G_t}$$

$$I_B = \log \frac{B_0}{B_t}$$

$I_R, I_G$  dan  $I_B$  adalah intensitas efektif untuk *Red*, *Green* dan *Blue*, masing-masing  $R_0, G_0, B_0$  adalah warna dari blanko sedangkan  $R_t, G_t, B_t$  warna dari konsentrasi maupun sampel.

Berdasarkan hasil analisis intensitas nilai RGB yang diperoleh dari Gambar 3. memiliki nilai linieritas yang sangat baik dimana dengan koefisien korelasi nya ( $R^2$ ) di atas 0,9 yang berarti hampir mendekati 1, menurut Chairunnisaa (2020) linearitas dapat ditentukan melalui nilai koefisien korelasi dari kurva kalibrasi, dari kurva tersebut, diperoleh nilai korelasi ( $R$ ) serta koefisien korelasi atau determinasi ( $R^2$ ), nilai korelasi ( $R$ ) digunakan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan absorbansi, sedangkan koefisien determinasi

( $R^2$ ) menggambarkan seberapa dekat garis regresi linear dengan data hasil pengamatan sebenarnya.



**Gambar 3.** Grafik Intensitas RGB Pada Konsentrasi.

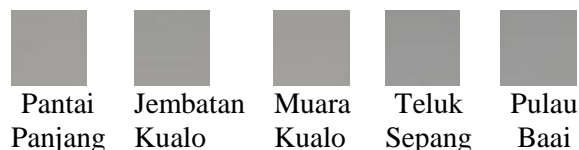
### Penentuan Kadar Sampel Air Laut Menggunakan Spektrofotometer

Pengukuran terhadap beberapa sampel air laut dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penentuan kadar amonia pada masing-masing sampel air laut menunjukkan variasi konsentrasi amonia beberapa titik lokasi pengambilan sampel, dalam prosedur pengukuran ini, digunakan panjang gelombang maksimum 640 nm. Berdasarkan hasil pengukuran amonia pada beberapa titik air laut dan juga air muara. Hasil sampel yang diuji menunjukkan nilai amonia yang tinggi terdapat pada titik lokasi Pulau Baai dan yang paling rendah terdapat pada titik lokasi Jembatan Kualo selebihnya pada sampel dengan rata-rata 0,2 ppm. Kandungan amonia pada titik pengambilan sampel masih termasuk aman yaitu sesuai dengan baku mutu KEPMEN LH No 51 Tahun 2004 (0,3 ppm) untuk baku mutu amonia. Kenaikan kadar amonia di suatu perairan disebabkan oleh proses amonifikasi terhadap seperti sisa metabolisme ikan, sisa pakan (Astria, 2022).

### Penentuan Kadar Sampel Air Laut Menggunakan Metode DIC

Pengambilan gambar pada sampel menggunakan kamera *smartphone* yang dianalisis dengan DIC diperlihatkan pada Gambar 4. Pengukuran terhadap beberapa sampel air laut menggunakan Metode DIC dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil yang didapatkan ini pengujian amonia menggunakan DIC dengan data yang diambil secara univariat yang berarti mengambil salah satu intensitas warna saja,

dengan nilai kemiringan yang paling tinggi pada penelitian ini yaitu nilai *Red* dengan kemiringan 0,744 yang berarti paling sensitif dibandingkan warna *Green* dan *Blue*.



**Gambar 4.** Hasil Pengambilan Gambar Sampel Menggunakan Kamera *Smartphone*

**Tabel 2.** Pengukuran amonia menggunakan *software ImageJ* dengan fokus pada intensitas *Red*.

Lokasi Penelitian	Nilai Red	Intensitas Red
Pantai Panjang	160,044	0,0233
Jembatan Kualo	159,956	0,0240
Muara Kualo	159,340	0,0252
Teluk Sepang	158,760	0,0268
Pulau Baai	155,515	0,0358

### Perbandingan Uji Amonia Menggunakan Metode DIC dan Spektrofotometri

Hasil perbandingan antara metode DIC dan Spektrofotometri ini yang telah dilakukan penelitian hasil yang didapatkan memiliki perbedaan yang relative kecil antara dua metode ini yang dimana dapat kita lihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Uji DIC dan Spektrofotometri

Lokasi Penelitian	DIC (ppm)	Spektro. (ppm)	Akurasi (%)
Pantai Panjang	0,0233	0,0225	96,68
Jembatan Kualo	0,0240	0,0192	80,02
Muara Kualo	0,0252	0,0232	91,98
Teluk Sepang	0,0258	0,0236	91,31
Pulau Baai	0,0358	0,0351	98,21

Secara keseluruhan, hasil perbandingan konsentrasi amonia menggunakan metode DIC

dan metode spektrofotometri menunjukkan tingkat perbedaan yang sangat kecil. Nilai akurasi itu sendiri merupakan pengukuran adalah kesesuaian antara nilai kuantitas yang diukur dengan nilai kuantitas yang sebenarnya (Permana *et al.*, 2023). Nilai akurasi dari perbandingan metode DIC dan metode Spektrofotometri memiliki nilai di atas 90% akan tetapi ada 1 lokasi memiliki nilai akurasi 80%, yaitu satu sampel ini memiliki perbedaan yang cukup tinggi yaitu Jembatan Kualo, sehingga perbedaan antara hasil DIC dan spektrofotometri cukup besar dibandingkan dengan sampel lainnya. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh adanya senyawa pengganggu (interferensi) dalam sampel, yang dapat mempengaruhi warna hasil reaksi kimia sehingga terdeteksi lebih kuat oleh sistem DIC. Hal ini memberikan gambaran bahwa meskipun DIC mampu mendekati hasil spektrofotometri, tetap diperlukan optimasi dalam hal standarisasi pencahayaan, kalibrasi warna, serta pengendalian faktor lingkungan agar hasil yang diperoleh lebih konsisten di semua kondisi, menurut Firdaus *et al.* (2014) bahwa batas deteksi kolorimetri berbasis gambar sebanding dengan spektrofotometri UV-tampak, yang tidak cukup baik untuk mendeteksi konsentrasi rendah.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, metode *Digital Image Colorimetry* (DIC) untuk menganalisis amonia di perairan yang telah kami kembangkan memberikan akurasi yang sebanding dengan metode Spektrofotometri, sehingga dapat menjadi alternatif yang lebih ekonomis dan juga *portable* dibandingkan dengan metode konvensional yang lebih mahal, perlu zat kimia yang banyak disertai menghasilkan limbah toksik ikutannya, dan juga perlu dilakukan oleh laboran terlatih.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alkindi, F. F., Budiono, R., Al-Islami, F. N., Surabaya, U., Surabaya, U., dan Surabaya, U. (2023). Analisis kadar amonia dalam air sungai didaerah Iindstri sier surabaya menggunakan metode fenat. *Jurnal Farmasi dan Kesehatan*, 12(2), 181–189.
- Astriana, B. H., Putra, A. P., dan Junaidi, M. (2022). Kelimpahan fitoplankton sebagai



- indikator kualitas perairan di Perairan Laut Labangka, Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(4), 710-721.
- Chairunnisaa, I. R., Suwita, I. K., dan Kesuma, S. (2020). Pengembangan Metode Penentuan Kandungan Rhodamin B dalam Kerupuk Berwarna Merah menggunakan Reagen Zn (CNS) 2 dan Pencitraan Digital. *Jurnal Farmasi dan Kesehatan*, 9(2), 63-72.
- Dinata, A. A., Firdaus, M. L., dan Elvia, R. (2019). Penerapan Kemometrik Pada Metode Citra Digital Untuk Analisis Ion Merkuri (Ii) Dengan Indikator Nanopartikel Perak. *Alotrop*, 3(1), 105–113. <https://doi.org/10.33369/atp.v3i1.9049>
- Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., Durán, J. L., Bradshaw, L. M., dan Farag, A. M. (2024). Ammonia and aquatic ecosystems – A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *Science of the Total Environment*, 907(September 2023). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>
- Firdaus, M. L., Alwi, W., Trinoveldi, F., Rahayu, I., Rahmidar, L., dan Warsito, K. (2014). Determination of Chromium and Iron Using Digital Image-based Colorimetry. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.037>
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito, S., Maury, H. K., dan Alianto, A. (2018). Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1), 35. <https://doi.org/10.14710/jil.16.1.35-43>
- Hidayat, S., Mulyani, P. A., Alamsyah, W., Kartawidjaja, M., dan Suryaningsih, S. (2016). Alat Pendeteksi Dan Pengukur Kadar Rhodamin B Sebagai Pewarna Berbahaya Pada Makanan Dengan Basis Led Rgb. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 1(2), 123-128.
- Hidup, K. N. L. (2004). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. *Deputi Menteri Lingkungan Hidup: Bidang Kebijakan dan Kelembagaan LH Jakarta*.
- I Patty, S., Nurdiansah, D., dan Akbar, N. (2020). Sebaran suhu, salinitas, kekeruhan dan kecerahan di perairan Laut Tumbak-Bentenan, Minahasa Tenggara. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 3(1), 77–87. <https://doi.org/10.33387/jikk.v3i1.1862>.
- Kusumawan, D. S. E. A. M. (2015). Optimasi proses pengukuran dimensi dan defect ubin keramik menggunakan pengolahan citra digital dan full factorial design. *Jurnal Teknosains*, 4(2).
- Mustofa, A. (2015). Kandungan nitrat dan pospat sebagai faktor tingkat kesuburan perairan pantai. *Jurnal DISPROTEK*, 6(1), 13–19.
- Permana, M. D., Sakti, L. K., Luthfiah, A., Lutfi Firdaus, M., Takei, T., Eddy, D. R., dan Rahayu, I. (2023). A Simple Methods for Determination of Methylene Blue using Smartphone-Based as Digital Image Colorimetry. *Trends in Sciences*, 20(4). <https://doi.org/10.48048/tis.2023.5149>
- Riwanti, P., Izazih, F., dan Amaliyah. (2020). Journal of Pharmaceutical Care Anwar Medika. *Pengaruh perbedaan konsentrasi etanol dan kadar flavonoid total ekstrak etanol 50, 70, dan 96 % Saragassum polycystum dari Madura*, 2(2), 35–48.
- Rusmawan, C. A., Onggo, D., dan Mulyani, I. (2011). Analisis kolorimetri kadar besi (III) dalam sampel air sumur dengan metoda pencitraan digital. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains*, 1.
- Safitri, M., Oseanografi, K. K., Ilmu, F., dan Bandung, I. T. (2009). *Kondisi Keasaman ( pH ) Laut Indonesia Pendahuluan Air laut merupakan air tawar yang mengandung 3 , 5 % garam-garam . Sama halnya diekspresikan melalui suatu parameter kimia yang disebut dengan pH . Suatu skala atau nilai bervariasi antara 0 sampai dengan. 73–87.*
- Wang, X., Zhang, J., You, L., Jin, Y., Lin, Z., Lin, J., Wu, J., dan Yu, Z. 2025. The Effects of Salinity on the Survival, Growth, and Eco-Physiological Parameters of Juvenile Sea Urchin *Diadema setosum*. *Animals*, 15(16), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ani15162462>
- Yohan, Y., Astuti, F., dan Wicaksana, A. (2018). Pembuatan spektrofotometer edukasi untuk analisis senyawa pewarna makanan. *Chimica et Natura Acta*, 6(3), 111-115.
- Yolanda, Y. (2023). Analisa pengaruh suhu, salinitas dan pH terhadap kualitas air di muara perairan Belawan. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 29-337.
- Yusal, M. S., Hasyim, A., Hastuti, H., Arif, A., dan Syam, R. H. (2025). *Review Eutrofikasi : Risiko dalam Kesuburan Lingkungan Perairan dan Upaya Penanggulangannya*. 24(1), 124–135.