

ANALISA BOD UNIT IPAL SISTEM CPI (*CORRUGATED PLATE INTERCEPTOR*) DAN EFISIENSI KINERJANYA DI PPSDM MIGAS CEPU

Shahifa Habiba¹, Elinda Kartika Sari¹, Arief Budiono¹, Rieza Mahendra Kusuma²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia

²PPSDM Migas Cepu, Jl. Raya Sorogo No.1, Bora, Indonesia

shahifa.habiba@gmail.com, [arief.budiono@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Salah satu unit pengolahan minyak bumi di Indonesia adalah kilang minyak milik Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM MIGAS) yang berada di Cepu, Bora, Jawa Tengah. Industri migas menghasilkan air limbah yang umumnya mengandung senyawa berbahaya yang dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup dan kelestarian lingkungan. PPSDM MIGAS Cepu memiliki serangkaian Instalansi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang terdiri dari dua jenis, yaitu *American Petroleum Institute* (API) dan *Corrugated Plate Interceptor* (CPI). Salah satu parameter yang ditetapkan pada PERMENLH Nomor 19 Tahun 2010 mengenai baku mutu pembuangan air limbah proses dari kegiatan pengolahan minyak bumi adalah BOD. *Biological Oxygen Demand* (BOD) adalah salah satu parameter uji air limbah yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Analisa BOD dilakukan dengan cara metode Winkler sesuai dengan SNI 06-6989-72-2009. Metode tersebut dilakukan dengan cara titrasi blanko, sampel awal limbah, dan sampel limbah setelah inkubasi selama 5 hari dalam kondisi gelap dan suhu 20°C. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja unit CPI yang ada di PPSDM MIGAS Cepu berdasarkan parameter BOD. Hasil perhitungan nilai BOD pada inlet CPI sebesar 10,0817 mg/l dan outlet CPI sebesar 0,0337 mg/l. Efisiensi kinerja CPI berdasarkan parameter BOD adalah 99,6740%.

Kata kunci: BOD, CPI, IPAL

ABSTRACT

One of the industries that process petroleum is the oil refinery owned by Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM MIGAS) in Cepu, Bora, Central Java. The oil and gas industry produces waste water which generally contains hazardous material that can interfere with the health of organism and environmental sustainability. PPSDM MIGAS Cepu has Waste Water Treatment PLANT (WWTP) consisting of two types, namely American Petroleum Institute (API) and Corrugated Plate Interceptor (CPI). One of the parameter stipulated in PERMENLH Number 19 of 2010 about quality standards for the disposal of process wastewater from petroleum processing activities is BOD. Biological Oxygen Demand (BOD) is one of the wastewater test parameters that shows the amount of oxygen needed by microorganisms to decompose organic materials. BOD analysis was carried out using the Winkler method. This method did by titrating the blank, the iniliat waste sample, and the waste sample after incubation for 5 days in the dark and at 20°C. This study was conducted to evaluate the existing CPI unit in PPSDM MIGAS Cepu based on BOD parameters. The results of the calculation of the BOD value at the inlet CPI is 10,0817 mg/l and outlet CPI is 0,0337 mg/l. The efficiency of CPI performance based on BOD parameter is 99,6740%.

Keywords: BOD, CPI, WWTP

1. PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan salah satu kekayaan alam yang dimiliki oleh Indonesia. Sumber daya alam ini diolah oleh industri minyak dan gas bumi untuk dapat dimanfaatkan lebih lanjut oleh masyarakat maupun industri sektor lain sebagai sumber bahan bakar maupun lainnya. Salah satu industri yang mengolah minyak bumi adalah kilang minyak milik Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM MIGAS) yang berada di Cepu, Blora, Jawa Tengah.

Industri migas menghasilkan limbah berupa zat padat, cair, maupun gas dan 80% dari limbah tersebut merupakan limbah cair [1]. Limbah merupakan hasil samping dari proses produksi di industri yang dapat merugikan masyarakat karena berpotensi mencemari lingkungan [2]. Air limbah merupakan buangan yang dihasilkan dari rumah tangga, industri, maupun tempat umum lainnya. Air limbah ini umumnya mengandung senyawa berbahaya yang dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup dan kelestarian lingkungan. Air limbah dapat terbentuk dari kombinasi antara cairan dan sampah cair yang berasal dari daerah pemukiman, perdagangan, perkantoran, dan industri bersamaan dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan [3]. Oleh sebab itu, pemerintah menetapkan standar baku mutu air limbah yang berbeda – beda untuk setiap sumber air limbah. Air limbah yang tidak sesuai dengan baku mutu dapat diolah terlebih dahulu sehingga saat air limbah dibuang ke lingkungan atau sungai tidak akan merusak kelestarian lingkungan tersebut.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah sistem pengolahan air limbah yang dilakukan secara terpusat dengan menggunakan bangunan yang difungsikan untuk mengolah air limbah agar dapat dibuang ke lingkungan secara aman. Keluaran (*effluent*) dari IPAL tersebut akan langsung dibuang menuju sungai atau sumur resapan [3]. PPSDM MIGAS Cepu memiliki serangkaian IPAL yang terdiri dari dua jenis, yaitu *American Petroleum Institute* (API) dan *Corrugated Plate Interceptor* (CPI). Pengolahan air limbah di PPSDM MIGAS Cepu menggunakan kedua jenis alat tersebut karena polutan yang akan dipisahkan memiliki ukuran partikel dengan diameter antara 60 hingga 300 mikron. Berdasarkan hasil penelitian oleh PPSDM MIGAS Cepu, unit CPI memiliki plat sejajar yang bergelombang dengan diposisikan secara miring dengan sudut antara 40 hingga 70 derajat. Kemiringan tersebut dinilai dapat memudahkan pemisahan antara polutan dengan air. Unit CPI yang berada di PPSDM MIGAS Cepu memiliki kemiringan sudut 45 derajat [4].

Air limbah yang ada di PPSDM MIGAS Cepu diolah secara berurutan melewati API I, CPI, dan API II, *effluent* IPAL tersebut akan langsung dibuang ke Sungai Bengawan Solo [4]. Air limbah yang dihasilkan berasal dari kilang yang mengandung minyak (hidrokarbon) dan beberapa bahan kimia yang digunakan untuk membantu proses pengolahan minyak bumi. Senyawa hidrokarbon yang terlarut dalam air yang dapat menyebabkan terbentuknya senyawa organik, seperti benzene dan toluene yang berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik [1].

Biological Oxygen Demand atau BOD adalah salah satu karakteristik nilai pada limbah yang menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme (pada umumnya bakteri) untuk mendekomposisi bahan organik yang terdapat pada limbah dalam kondisi aerobik [5]. Dengan mengetahui nilai BOD pada air limbah dapat menunjukkan kualitas air limbah atau jumlah beban pencemaran yang diakibatkan dari buangan pabrik sehingga nilai yang diperoleh dapat dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah

sebagai bahan evaluasi IPAL maupun pertimbangan apakah air limbah dapat dibuang ke lingkungan secara aman atau tidak. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi salah satu unit IPAL yang ada di PPSDM MIGAS Cepu, yaitu *Corrugated Plate Interceptor* (CPI). Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kinerja unit CPI dalam mengolah air limbah pada parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *Grab* (sewaktu) pada *inlet* dan *outlet* CPI (*Corrugated Plate Interceptor*) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM MIGAS) Cepu. Pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan SNI 6989.59:2008 tentang Air dan Air Limbah – Bagian 59: Metode Pengambilan Contoh Air limbah. Sampel air limbah yang diambil ditempatkan di dalam wadah khusus BOD yang terbuat dari gelas sebanyak 300 ml tiap sampel. Sampel dapat langsung dianalisa BOD₀ dengan cara titrasi atau analisa dapat ditunda paling lama 8 jam dengan mengasamkan sampel terlebih dahulu [6].

2.2. Analisa Sampel

Analisa sampel BOD dapat dilakukan sesuai dengan SNI 06-6989-72-2009 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia Air Limbah. Sampel atau blanko akan diencerkan dengan larutan pengencer yang telah disiapkan dan dimasukkan ke botol KOB. Sampel dan blanko dianalisa pada hari ke-0 dan hari ke-5 setelah diinkubasi selama 5 hari. Sebelum dianalisa, sampel dan blanko akan ditambahkan beberapa larutan, seperti mangan sulfat, alkali iodida, asam sulfat pekat, dan indikator larutan kanji. Kemudian, dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat hingga warna biru tepat hilang. Hasil titrasi pada sampel dan blanko hari ke-0 dan ke-5 dapat dihitung untuk memperoleh nilai BOD₅ [7].

2.3. Analisa Data

a. Penentuan Kadar Oksigen Terlarut (OT)

$$OT = \frac{8000 \times V \times N}{B} \quad (1)$$

Keterangan: OT = Oksigen terlarut (mg/liter)

V = Volume natrium thiosulfate yang dibutuhkan (ml)

N = Konsentrasi natrium thiosulfate

B = Volume sampel yang dititrasi (ml)

b. Penentuan Nilai BOD

$$BOD = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5) \times (1 - P)}{P} \quad (2)$$

Keterangan: BOD = *Biological Oxygen Demand* (mg/liter)

P = Pengenceran

X₀ = Volume titran sampel saat t=0 hari (ml)

X₅ = Volume titran sampel saat t=5 hari (ml)

B₀ = Volume titran blanko saat t=0 hari (ml)

B₅ = Volume titran blanko saat t=5 hari (ml)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Corrugated Plate Interceptor (CPI) merupakan salah satu unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ada di PPSDM MIGAS, Cepu, Blora, Jawa Tengah. Salah satu parameter yang menjadi tolak ukur dari kinerja alat tersebut adalah BOD. Selain itu, terdapat beberapa parameter penunjang yang diamati, yaitu suhu dan derajat keasaman. Berikut ini adalah baku mutu air limbah untuk industri minyak dan gas bumi [8].

Tabel 1. Baku mutu pembuangan air limbah proses dari kegiatan pengolahan minyak bumi

| PARAMETER | KADAR MAKSIMUM (mg/L) | BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (gram/m ³) | METODE PENGUKURAN |
|--|--|---|---|
| BOD 5 | 80 | 80 | SNI 06-2503-1991 |
| COD | 160 | 160 | SNI 06-6989:2-2004 atau SNI 06-6989:15- 2004 atau APHA 5220 |
| Minyak dan Lemak | 20 | 20 | SNI 06-6989:10-2004 |
| Sulfida Terlarut (sebagai H ₂ S) | 0,5 | 0,5 | SNI 06-2470-1991 atau APHA 4500-S ²⁻ |
| Amonia (sebagai NH ₃ -N) | 8 | 8 | SNI 06-6989:30-2005 atau APHA 4500-NH ₃ |
| Fenol Total | 0,8 | 0,8 | SNI 06-6989:21-2005 |
| Temperatur | | 45°C | SNI 06-6989:23-2005 |
| pH | | 6 – 9 | SNI 06-6989:11-2004 |
| Volume Air Limbah/Volume Bahan Baku | 1000 m ³ per 1000 m ³ bahan baku | minyak | |

3.1. Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter fisik yang dapat mempengaruhi kualitas perairan. Suhu dapat mempengaruhi keberlangsungan hidup biota perairan. Selain itu, suhu juga dapat mempengaruhi BOD dari perairan karena suhu tersebut mempengaruhi kelarutan oksigen. Apabila suhu di perairan meningkat sebesar 10°C, maka dapat menyebabkan konsumsi oksigen oleh mikroorganisme menjadi meningkat, sehingga nilai BOD juga meningkat [9]. Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas serta Panas Bumi, maka temperature maksimum yang diperbolehkan untuk air limbah adalah 45°C. pada unit CPI, suhu air pada bagian inlet adalah sebesar 31,5°C dan bagian outlet sebesar 32,5°C, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi air limbah ini masih tergolong baik.

3.2. Derajat Keasaman

Derajat keasaman menunjukkan jumlah ion hidrogen yang terdapat di perairan. Parameter ini juga dapat menggambarkan kualitas dari air limbah. Air limbah yang teralu asam atau basa dapat berbahaya bagi lingkungan. Pada umumnya, biota perairan menyukai

perairan dengan kondisi netral sehingga kondisi tersebut dapat mengoptimalkan proses dekomposisi [10]. Derajat keasaman diukur menggunakan pH meter dengan rentang nilai antara 0 – 14. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi derajat keasaman suatu perairan adalah konsentrasi jumlah gas terlarut, seperti CO₂, garam karbonat, dan bikarbonat di perairan, dan proses dekomposisi bahan organik yang ada di dasar perairan [11]. Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas serta Panas Bumi, nilai pH yang diperbolehkan adalah sebesar 6 – 9. Pada unit CPI, pH inlet adalah sebesar 7,07 dan pH outlet sebesar 7,06. Kedua nilai pH tersebut sudah memenuhi standar baku dan mendekati netral.

3.3. Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah salah satu parameter uji air limbah yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik [11, 12]. Metode pengukuran BOD dilakukan dengan cara mengukur jumlah oksigen terlarut awal (OT₀) yang dilakukan pada saat hari pengambilan sampel air limbah, kemudian mengukur jumlah oksigen terlarut setelah 5 hari inkubasi (OT₅). Pengukuran jumlah oksigen terlarut dilakukan dengan cara titrasi menggunakan larutan natrium thiosulfat dan larutan indikator kanji sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004. Sebelumnya, sampel telah diencerkan hingga kepekatan limbah sebesar 10% dengan larutan pengencer yang telah diberi benih bakteri dari limbah itu sendiri dan diaerasi selama kurang lebih 2 jam. Pengenceran sampel sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004 dengan menggunakan macam air limbah yang telah diolah sehingga rentang kepekatan air limbah sebesar 5 – 25% [7]. Berikut ini adalah hasil titrasi untuk penentuan nilai oksigen terlarut.

Tabel 2. Hasil titrasi sampel BOD hari ke-0

| Sampel | Volume Wrinkler (ml) | | | Volume Titran (ml) | | | |
|--------|----------------------|--------|-------------|--------------------|------|-------------|------|
| | I | II | Rata - rata | I | II | Rata - rata | |
| Blanko | 118,19 | - | 118,19 | 4,62 | - | 4,62 | |
| CPI | Inlet | 117,39 | 117,65 | 117,52 | 3,94 | 3,92 | 3,93 |
| | Outlet | 117,53 | 117,65 | 117,59 | 4,10 | 3,74 | 3,92 |

Tabel 3. Hasil titrasi sampel BOD hari ke-5

| Sampel | Volume Wrinkler (ml) | | | Volume Titran (ml) | | | |
|--------|----------------------|--------|-------------|--------------------|------|-------------|------|
| | I | II | Rata - rata | I | II | Rata - rata | |
| Blanko | 117,49 | - | 117,49 | 3,62 | - | 3,62 | |
| CPI | Inlet | 117,62 | 117,54 | 117,58 | 2,80 | 2,72 | 2,76 |
| | Outlet | 117,43 | 117,68 | 117,58 | 3,58 | 3,40 | 3,49 |

Dari hasil titrasi yang telah diperoleh maka dapat dilakukan perhitungan jumlah oksigen terlarut menggunakan persamaan (1) dan menentukan nilai BOD menggunakan

persamaan (2) sehingga diperoleh nilai oksigen terlarut pada hari ke-0 dan ke-5, serta BOD sebagai berikut.

Tabel 4. Analisa data OT dan BOD

| Sampel | OT ₀ | OT ₅ | BOD (mg/l) |
|--------|-----------------|-----------------|------------|
| Blanko | 7,2183 | 6,0298 | - |
| CPI | Inlet | 6,7300 | 4,7239 |
| | Outlet | 6,8109 | 5,7246 |

Penentuan nilai BOD dilakukan pengenceran dan aerasi terlebih dahulu agar oksigen dapat tetap tersedia hingga inkubasi hari ke – 5. Penentuan nilai BOD dilakukan setelah masa inkubasi selama 5 hari sesuai dengan kesepakatan umum. Sebenarnya analisis BOD memerlukan waktu yang cukup lama sebab melibatkan proses oksidasi biokimia yang lambat. Masa inkubasi selama 5 hari dapat mendekomposisi bahan organik sebanyak 60 – 70%. Apabila masa inkubasi dilakukan hingga 20 hari, maka bahan organik yang terdekomposisi dapat mencapai 95 – 99%. Namun, waktu tersebut dianggap terlalu lama dan kurang praktis. Suhu inkubasi dilakukan pada suhu 20°C karena suhu tersebut dianggap suhu rata – rata perairan dengan iklim sedang. Selain itu, inkubasi dilakukan pada tempat yang gelap dengan tujuan untuk mencegah proses fotosintesis yang dapat menyebabkan terbentuknya oksigen, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen oleh mikroorganisme untuk proses dekomposisi bahan organik [12].

Hasil perhitungan kadar oksigen terlarut awal (OT₀) pada blanko sebesar 7,2183 mg/l. Setelah inkubasi, nilai OT₅ sebesar 6,0298 mg/l. Pada bagian inlet CPI diperoleh OT₀ sebesar 6,7300 mg/l dan OT₅ sebesar 4,7239 mg/l. Sedangkan, pada bagian outlet CPI, OT₀ sebesar 6,8109 mg/l dan OT₅ sebesar 5,7246 mg/l. Penurunan oksigen terlarut disebabkan karena adanya aktifitas pernafasan mikroorganisme yang menggunakan bahan organik yang terkandung di dalam limbah untuk pertumbuhan, metabolisme, dan penyusunan sel – sel mikroorganisme.

Berdasarkan hasil perhitungan kadar oksigen terlarut, maka didapatkan nilai BOD yang dihitung menggunakan persamaan (2). Nilai BOD pada inlet CPI sebesar 10,0817 mg/l dan pada outlet sebesar 0,0337 mg/l. Nilai BOD yang lebih tinggi pada bagian inlet CPI menunjukkan bahwa kandungan bahan organik pada air limbahnya lebih tinggi dibandingkan pada bagian outlet CPI. Nilai BOD yang semakin tinggi menunjukkan jumlah bahan organik yang semakin bertambah. Sebaliknya, nilai BOD yang semakin rendah diakibatkan karena jumlah bahan organik yang semakin menurun [11]. Apabila dibandingkan dengan baku mutu pada tabel 1, maka kedua nilai BOD baik pada inlet maupun outlet CPI sudah memenuhi standar baku mutu yang diberlakukan oleh pemerintah. Selain itu, dapat dilihat bahwa CPI bekerja dengan sangat baik dalam mendegradasi bahan organik yang terkandung di dalam air limbah. Berdasarkan perhitungan efisien kinerja CPI untuk parameter BOD, maka unit CPI ini dapat menurunkan nilai BOD hingga sebesar 99,6740%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan kadar oksigen terlarut menunjukkan bahwa pada blanko OT₀ sebesar 7,218 mg/l dan OT₅ sebesar 6,0298 mg/l. Pada inlet CPI, OT₀ sebesar 6,7300 mg/l dan OT₅

sebesar 4,7239 mg/l. Sedangkan, pada outlet CPI, OT_0 sebesar 6,8109 mg/l dan OT_5 sebesar 5,7246 mg/l. Hasil perhitungan nilai BOD pada inlet CPI sebesar 10,0817 mg/l dan inlet CPI sebesar 0,0337 mg/l. Efisiensi kinerja CPI berdasarkan parameter BOD adalah 99,6740%.

REFERENSI

- [1] Alcafi, M. C., Yusuf, M., dan Prabu, U. A., 2019, *Penggunaan Zeolit dalam Menurunkan Konsentrasi Lemak dan Minyak pada Air Terproduksi Migas*, Jurnal Pertambangan, vol. 3, no. 4, hal. 23–27, .
- [2] Prasetia, A. T., Nurkhasanah, S. D., dan Sudarminto, H. P., 2020, *Proses Pengolahan dan Analisa Air Limbah Industri di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)*, Distilat Jurnal Teknologi Separasi, vol. 6, no. 2, hal. 491–498.
- [3] Almufid dan Permadi, R., 2020, *Perencanaan Instalansi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Studi Kasus Proyek IPAL PT. Sumber Masanda Jaya di Kabupaten Brebes Provinsi Jawa Tengah Kapasitas 250 m²/Hari*, Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Tangerang, vol. 9, no. 1, hal. 92–100.
- [4] Mustakim, 1987, *Gravity Separation*. Pusat Pengembangan Tenaga Perminyakan dan Gas Bumi, Cepu.
- [5] Santoso, A. D., 2018, *Keragaman Nilai DO, BOD, dan COD di Danau Bekas Tambang Batubara Studi Kasus pada Danau Sanggata North PT. KPC di Kalimantan Timur*, Jurnal Teknologi Lingkungan, vol. 1, no. 19, hal. 89–96.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, 2008, *SNI 6989.58: 2008 Air dan Air Limbah – Bagian 58: Metoda Pengambilan Contoh Air Tanah*.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, 1992, *SNI 06-2875-1992 - Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia Air Limbah*.
- [8] PERMENLH, 2010, *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas serta Panas Bumi*, Kementerian Lingkungan Hidup.
- [9] Yazid, M., Bastianudin, A., dan Usada, W., 2007, *Pengaruh Ozonisasi terhadap DO, BOD, dan Pertumbuhan Bakteri di dalam Limbah Cair Indutri Penyamakan Kulit*, Jurnal Ganendra, vol. 1, no. 10, hal. 19–25,.
- [10] Roem, M., Laga, A., Listiana, I., Rukmana, I., dan Astriani, K., 2016, *Studi Parameter Oseanografi Fisik Perairan Pulau Derawan*, Jurnal Harpodon Borneo, vol. 2, no. 9.
- [11] Hatta, M., 2014, *Hubungan Antara Parameter Oseanografi dengan Kandungan Klorofil-A pada Musim Timur di Perairan Utara Papua*, Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan, vol. 3, no. 24, hal. 29–39.
- [12] Metcalf dan Eddy, 1991, *Waste Water Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
- [13] Umaly, R. C., dan Ma, L. A. C., 1988, *Limnology: Laboratory and Field Guide, Psycho-Chemical Factors, Biology Factors.*, National Book Store, Inc, Metro Manila