



## Studi Kualitas Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Ditinjau dari Sifat Kimia

Desy Rosarina<sup>1</sup> dan Ellysa Kusuma Laksanawati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Dosen Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Tangerang

Jalan P. Kemerdekaan No.33 Cikokol Kec. Tangerang Kota Tangerang 15118

Email: [desy.rosarina@umt.ac.id](mailto:desy.rosarina@umt.ac.id)

**ABSTRACT.** Penelitian tentang Studi Kualitas Air Sungai Cisadane Kota Tangerang telah dilaksanakan pada bulan April sampai Agustus 2018. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air sungai Cisadane melalui sifat fisika dan kimianya, dengan mengkaji perbandingan beberapa stasiun pengambilan sampel terhadap beberapa parameter pengamatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey untuk menentukan tempat pengambilan sampel bahan uji. Pengukuran kualitas air dilakukan secara insitu dan uji laboratorium. Pengambilan data dilakukan secara purposive sampling, yaitu pengambilan sampel dilakukan dengan memperhatikan berbagai pertimbangan kondisi serta keadaan daerah pengamatan, dengan menentukan 3 stasiun pengamatan, yaitu di kawasan taman kota (stasiun1), kawasan perumahan (stasiun 2) dan kawasan pabrik kertas (stasiun 3). Pengambilan sampel dilakukan secara komposit di setiap stasiun. Analisis yang dilakukan menggunakan analisis secara eksitu, yaitu analisis yang dilakukan di laboratorium. Parameter yang diamati adalah COD, BOD, pH dan fosfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air di sungai Cisadane Kota tidak memenuhi baku mutu air kelas II berdasarkan PP No. 82 tahun 2001. Kandungan COD hanya memenuhi baku mutu air kelas II di stasiun 1 dan 3. Kandungan BOD dan fosfat cukup tinggi dan melebihi baku mutu air kelas II, sehingga perlu menjadi acuan dalam penanganan pencemaran lingkungan perairan sungai Cisadane.

**Kata Kunci:** baku mutu air, kualitas air, Sungai Cisadane

### PENDAHULUAN

Kualitas air dapat diukur berdasarkan berbagai parameter air baik fisika, biologi dan kimia. Pengukuran kualitas air dilakukan pada ekosistem perairan. Effendi (2008) menjelaskan bahwa perairan diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu badan air mengalir (*flowing waters* atau lotik) dan badan air tergenang (*standing waters* atau lentik). Salah satu perairan mengalir adalah sungai Cisadane.

Sungai Cisadane adalah salah satu sungai besar di Tatar Pasundan, Pulau Jawa, yang bermuara ke Laut Jawa. Hulu sungai ini berada di lereng Gunung Pangrango, dengan anak sungai yang berawal di G. Salak, melintas di sisi barat Kabupaten Bogor, ke arah Kabupaten Tangerang dan bermuara di sekitar Tanjung Burung. Dengan panjang keseluruhan sekitar 126 km, sungai ini melintasi 44 kecamatan di Kabupaten Bogor, Kota Bogor, Kabupaten Tangerang, Kota Tangerang, dan Tangerang Selatan (Wikipedia, 2016).

Beberapa tahun terakhir kawasan sungai Cisadane Kota Tangerang berhubungan langsung dengan aktifitas publik, kegiatan beberapa industri dan pemukiman, kantor, restoran dan cafe. Selain itu, Pemkot Tangerang tahun lalu juga melakukan penataan sungai berupa area publik atau taman khususnya di sekitar Jembatan Unis dan Jalan GJA Karawaci. Cisadane sejak lama berfungsi untuk pengairan lahan pertanian, pemenuhan kebutuhan bagi industri, dan untuk memenuhi kebutuhan air bersih atau minum bagi rumah tangga (Beritasatu, 2016).

Cisadane juga menjadi jalur transportasi dengan perahu kecil untuk menyebrangkan warga dari tepian yang satu ke tepian yang lain. Para nelayan juga bisa mengambil kekayaan sungai untuk mencari ikan. Kesemua aktivitas tersebut mempengaruhi kualitas air dan mempunyai potensi mencemari perairan di sungai Cisadane, yang berdampak pada menurunnya kualitas air. Menurut Tajangenyasha dan Dzinomwa dalam Agustiningsih *et al.* (2012), perubahan kondisi kualitas air sungai merupakan dampak dari buangan kegiatan industri dan pemukiman di sekitar daerah aliran sungai.

Dari uraian tersebut kajian kualitas perairan dapat ditinjau dari sifat kimia, sehingga dapat memberikan informasi tentang COD, BOD, pH dan fosfat, sehingga dapat memberikan kontribusi bagi pembangunan dan pengembangan ilmu pengetahuan.

### METODE PENELITIAN

#### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada Bulan Februari sampai November 2018 berlokasi di perairan Sungai Cisadane Kota Tangerang. Sedangkan analisa kualitas air dilakukan di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kabupaten Tangerang.

#### Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode survey. Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*, mengacu pada penelitian Damarany *et al.* (2009), Agustiningsih *et al.* (2012) dan Sahabuddin *et al.* (2014). Penentuan stasiun pengambilan sampel air ditentukan secara purposive sampling, dengan mempertimbangkan masukan bahan organik ke dalam perairan (Rahman *et al.*, 2016). Stasiun 1 ditentukan pada kawasan taman kota di Taman Gajah Tunggal Cikokol. Stasiun 2 di kawasan perumahan penduduk di wilayah Babakan Cikokol dan stasiun 3 di kawasan pabrik kertas di wilayah Karawaci.

### Pengambilan sampel parameter kimia

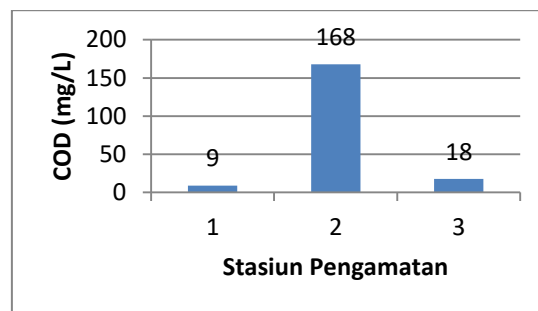
Disiapkan botol sampel berukuran 600 ml yang terlebih dahulu telah dibersihkan. Dichelupkan botol tersebut ke dalam air dengan posisi miring dengan mulut botol sampel yang menghadap atau berlawanan arus. Botol sampel yang bermuatan 600 ml ini diberi keterangan setiap pengambilan. Ke dalam botol sampel tersebut diukur COD, BOD, pH dan fosfat. Pengambilan sampel ini diulang 3 kali, setelah itu dikomposit dan sampel air disimpan ke dalam lemari pendingin/kulkas yang disediakan di laboratorium.

### Analisis Data

Data dianalisis di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kabupaten Tangerang, secara deksriptif dengan membandingkan hasil uji laboratorium dengan baku mutu air sesuai dengan PP No 82/2001 untuk peruntukan kelas II.

### HASIL DAN PEMBAHASAN COD (Chemical Oxygen Demand)

*Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimiawi bahan-bahan organik baik yang bisa didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Kandungan COD di perairan dipengaruhi oleh curah hujan dan banyaknya bahan pencemar (polutan) yang masuk ke badan perairan. Menurut PP No 82 tahun 2001 nilai baku mutu untuk COD sebesar 25 mg/L. Hasil pengukuran Karbondioksida dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Hasil Pengukuran COD

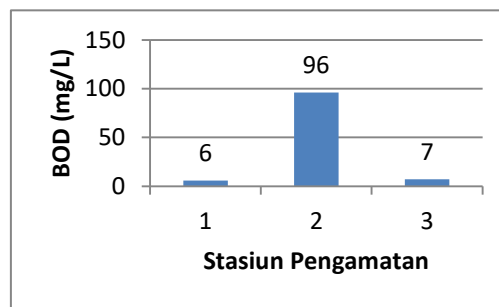
Gambar 1 menunjukkan nilai COD tertinggi terdapat pada stasiun 2 yaitu 168 mg/L, sangat melebihi ambang baku mutu air sebesar 25 mg/L. Tingginya kadar COD pada stasiun 2 diduga disebabkan banyaknya limbah domestik yang masuk ke perairan, baik limbah organik maupun limbah anorganik akibat aktivitas rumah tangga yang dibuang ke badan perairan.

Menurut Rahman *et al.* (2016), nilai COD lebih besar bila dibandingkan dengan BOD, karena jumlah senyawa kimia yang dapat dioksidasi secara kimiawi lebih besar dibandingkan secara biologis. Tingginya nilai COD dan BOD mengindikasikan banyaknya organisme di perairan dengan pertumbuhan bakteri yang tinggi. Hal ini menyebabkan bau tak sedap di lingkungan perairan. COD tertinggi di stasiun 2 mengindikasikan tingkat pencemaran di kawasan tersebut tinggi, yang dibuktikan dengan bau tak sedap dan warna perairan yang keruh dengan aktivitas domestik yang lebih tinggi disamping dua stasiun lainnya. Kawasan stasiun 2 tidak baik untuk kehidupan biota perairan.

### BOD (Biological Oxygen Demand)

Parameter BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) merupakan salah satu parameter kimia yang mengindikasikan jumlah senyawa organik-terurai dalam air, yang menunjukkan laju penggunaan oksigen terlarut (DO) yang dipakai mikroba untuk menguraikan senyawa organik-terurai, biasanya selama 5 hari, sehingga sering dikenal dengan BOD<sub>5</sub> dalam penelitian terhadap kualitas air. Semakin tinggi nilai BOD, maka semakin tinggi juga jumlah senyawa organik terurai. Hasil pengukuran BOD di ketiga stasiun ditampilkan pada gambar 2 berikut.

Gambar 2 menunjukkan kandungan BOD dalam badan perairan di ketiga stasiun telah melampaui ambang baku mutu air kelas II, meskipun di stasiun 1 dan 3 hanya sedikit lebih tinggi dari standar baku mutu yaitu 3 mg/L, hampir tidak begitu signifikan. BOD tertinggi terdapat di stasiun 2 sebesar 96 mg/L. Tingginya BOD di stasiun ini diduga disebabkan karena aktifitas manusia yang tinggi di kawasan ini. Menurut Djoharan *et al.* (2018), perubahan tata guna lahan yang ditandai dengan meningkatnya aktifitas domestik, pertanian dan industri akan mempengaruhi dan memberikan dampak terhadap kondisi kualitas air sungai, yang memberikan masukan BOD terbesar ke badan sungai.



Gambar 2. Hasil Pengukuran BOD

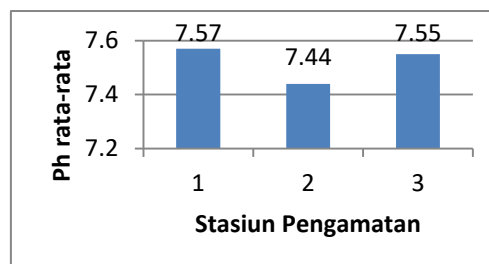
BOD secara langsung berhubungan dengan kandungan oksigen di dalam air. BOD merupakan jumlah oksigen yang digunakan mikroorganisme (bakteri) untuk menguraikan bahan-bahan organik di dalam air. Jumlahnya tergantung pada pH, suhu, jenis mikroorganisme dan jenis bahan organik dan inorganik di dalam air. Sumber BOD daun-daun dan potongan kayu pada air tergenang, tumbuhan atau hewan yang sudah mati, kotoran hewan, dan lain-lain. Semakin tinggi kandungan BOD, semakin cepat oksigen di dalam air habis, sehingga akan membawa dampak negatif bagi perkembangan makhluk hidup yang ada di dalam air, sehingga di kawasan ini tidak layak digunakan untuk air minum dan kehidupan biota perairan.

Nilai COD lebih besar bila dibandingkan dengan BOD, karena jumlah senyawa kimia yang dapat dioksidasi secara kimiawi lebih besar dibandingkan secara biologis. Tingginya nilai COD dan BOD mengindikasikan banyaknya organisme di perairan dengan pertumbuhan bakteri yang tinggi. Hal ini menyebabkan bau tak sedap di lingkungan perairan (Rahman *et al.*, 2016; Agustiniingsih *et al.*, 2012; Mahyudin *et al.*, 2015; Djoharan *et al.*, 2018).

#### Derajat Kemasaman (pH)

Parameter kimia yang menunjukkan derajat kemasaman air adalah pH *Power of Hydrogen* atau *Poisson Hard* yang mengindikasikan konsentrasi ion hidrogen dalam air. yaitu nilai konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) di dalam air. Besarannya dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion H. pH suatu perairan dan mempunyai pengaruh besar terhadap kehidupan organisme perairan, sehingga pH perairan dipakai sebagai salah satu untuk menyatakan baik buruknya sesuatu perairan.

Semakin banyak ion hidrogen dalam air, semakin tinggi derajat kemasamannya, namun nilai pH semakin rendah. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Hasil Pengukuran pH Air

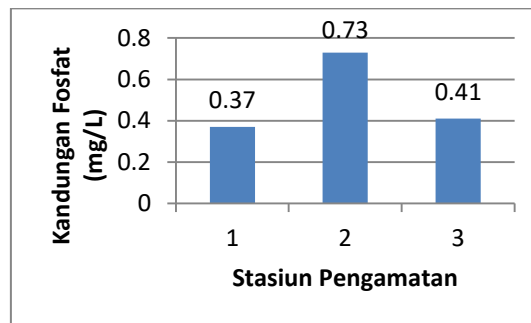
Gambar 3 menunjukkan nilai pH perairan berkisar 7,44-7,57 di tiga stasiun. Nilai tersebut masih memenuhi baku mutu lingkungan, dimana pH 6,5-8,2 merupakan kondisi optimum untuk makhluk hidup. pH yang terlalu asam atau terlalu basa akan mematikan makhluk hidup. pH dapat berubah antar musim, bahkan antar jam dalam satu hari. Adanya karbonat, bikarbonat dan hidroksida akan menaikkan kebasahan air, sementara adanya asam-asam mineral bebas dan asam karbonat menaikkan keasaman suatu perairan. Air limbah dan bahan buangan dari kegiatan industri yang di buang ke sungai akan mempengaruhi pH air, yaitu lebih dari 10, yang tentunya mengganggu kehidupan biota air. pH air di ketiga stasiun masih memenuhi baku mutu lingkungan.

Nuriya *et al.* (2010), menyatakan bahwa pH 6-8,5 masih dapat ditolerir organisme perairan untuk hidup, pH air yang baik untuk budidaya ikan nila adalah 6 – 8,5 dengan kisaran optimum 7 – 8. Dengan demikian, kisaran derajat keasaman selama penelitian masih berada dalam batas yang cukup baik bagi kegiatan perikanan.

#### Fospat

Fosfat adalah salah satu unsur nutrisi utama pertumbuhan sel makhluk hidup. Nilai dalam parameter  $PO_4$  menunjukkan konsentrasi ion fosfor (P). Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Bila kadar fosfat dalam perairan rendah maka pertumbuhan organisme perairan

akan terhambat, sedangkan bila kadar fosfat dalam perairan tinggi maka pertumbuhan organisme air menjadi tidak terbatas, sehingga akan merusak ekosistem air. Kandungan fosfat di tiga stasiun ditampilkan pada gambar 4 berikut ini :



**Gambar 4.** Kandungan fosfat di tiga stasiun pengamatan

Gambar 4 menunjukkan kandungan fosfat yang melebihi ambang baku mutu air kelas II di tiga stasiun, yaitu 0,2 mg/L. Nilai fosfat tinggi disebabkan oleh akumulasi fosfat yang bersumber dari limbah di setiap stasiun, terutama di stasiun 2. Fosfat yang terdapat di perairan sungai bersumber dari kegiatan antropogenik seperti limbah aktivitas perkotaan, domestik dan industri..

Menurut Sutamihardja *et al.* (2018), perairan yang tercemar limbah organik, khususnya fosfat akan meningkatkan tegangan permukaan air dalam bentuk lapisan tipis, sehingga dapat menghalangi difusi O<sub>2</sub> dari udara ke dalam badan air. Keberadaan fosfat di perairan dengan segera dapat diserap oleh bakteri. Hampir setengah dari fosfor yang terkandung dalam limbah rumah tangga berasal dari detergen.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kualitas air pada sampel air di Sungai Cisadane Kota Tangerang bahwa kualitas air tidak memenuhi baku mutu air kelas II berdasarkan PP No. 82 tahun 2001. Kandungan COD hanya memenuhi baku mutu air kelas II di stasiun 1 dan 3. Kandungan BOD dan fosfat cukup tinggi dan melebihi baku mutu air kelas II, sehingga perlu menjadi acuan dalam penanganan pencemaran lingkungan perairan sungai Cisadane.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi dalam penyelesaian makalah ini, antara lain :

1. Menristekdikti yang telah memberikan dana hibah Penelitian Dosen Pemula dengan Nomor Kontrak 0806/K4/KM/2018 Tanggal 12 Februari 2018.
2. Rektor Universitas Muhammadiyah Tangerang beserta jajarannya di LPPM dan Fakultas Teknik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningih, D.,S.B.Sasongko dan Sudarno. 2012. Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal. *Jurnal Presipitasi*. Volume 9 No 2 September 2012. Universitas Diponegoro.Semarang. <http://id.portalgaruda.org>. (diakses 14 Januari 2017).
- Beritasatu. 2016. Kawasan Pinggiran Cisadane, Clarke Quaya a La Tangerang. <http://www.beritasatu.com>. (diakses 27 Mei 2016).
- Damarany, P.,M.S.Fachrul dan W.Astono. 2009. Kajian Kualitas Air Sungai Cipinang Bagian Hilir Ditinjau dari Parameter BOD dan DO menggunakan Model Qual2E. *Jurnal Teknologi Lingkungan*.Vol 5 No 2. Fakultas Teknik Lingkungan Universitas Trisakti. Jakarta.
- Djoharan, V.,E. Riani dan M. Yani. 2018. Analisis Kualitas Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Pesanggrahan di Wilayah Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan*. IPB. Bogor. <https://media.neliti.com>
- Effendi, H. 2008. Telaah Kualitas Air *Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Edisi II. Kanisius. Yogyakarta.
- Mahyuddin., Soemarno dan T.B. Prayoga. 2015. Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*. Universitas Brawijaya. Malang. <https://jpal.ub.ac.id>.
- Nuriya, H.,Z. Hidayah dan A.F. Syah. 2010. Analisis Parameter Fisika Kimia di Perairan Sumenep Bagian Timur dengan Menggunakan Citra Lansat TM 5. *Jurnal Kelautan*. Vol.3 No 2. Universitas Trunojoyo. Madura. <https://journal.trunojoyo.ac.id>.



- Rahman, E.C., Masyamsir dan A. Rizal. Kajian Variabel Kualitas Air dan Hubungannya dengan Produktivitas Primer Fitoplankton di Perairan Waduk Darma Jawa Barat. 2016. *Jurnal Perikanan Kelautan*. Vol VII No.3. Universitas Padjajaran. Bandung. <https://jurnal.unpad.ac.id>.
- Sutamihardja, R.T.M.,M. Azizah dan Hardini. 2018. Studi Dinamika Senyawa Fosfat dalam Kualitas Air Sungai Ciliwung Hulu Kota Bogor. *Jurnal Sains Natural*. Universitas Nusa Bangsa. Bogor. <https://ejournalunb.ac.id>.
- Wikipedia. 2016. Sungai Cisadane. <http://www.wikipedia.org>. (diakses 27 Mei 2016).

## Pengaruh Konsentrasi $\text{SnCl}_2$ dan Temperatur Polimerisasi pada Sintesis Poli Laktida dengan Metode *Ring-Opening Polymerization*

Edwin Azwar<sup>1,\*</sup>, Ricky Fahlevi Sinulingga<sup>1</sup>, dan Muhammad Hanif<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung, Jalan Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng Bandar Lampung 35145

\*E-mail korespondensi: [edwin.azwar@eng.unila.ac.id](mailto:edwin.azwar@eng.unila.ac.id)

**Abstrak.** Pada penelitian ini, poli laktida atau poli asam laktat disintesis menggunakan metode *Ring-Opening Polymerization* (ROP). Metode ROP terdiri atas tiga tahapan: prepolimerisasi asam laktat, sintesis laktida, dan pembukaan cincin laktida. Penelitian ini menggunakan asam laktat 90% sebagai bahan baku dan  $\text{SnCl}_2$  sebagai katalis. Konsentrasi katalis divariasikan masing-masing 0,10%, 0,15%, dan 0,20% dalam persen berat dan temperatur polimerisasi divariasikan masing-masing 120°C, 140°C, dan 160°C. Di sisi lain, temperatur reaksi dijaga tetap selama 4 jam. Karakterisasi produk yang dilakukan adalah penentuan berat molekul, identifikasi gugus fungsi, dan respon polimer terhadap pemanasan. Produk dengan karakterisasi terbaik diperoleh pada konsentrasi katalis 0,20% dan temperatur reaksi 160°C. Polimer ini memiliki berat molekul 39680,045 gram/mol. Keberadaan gugus -OH dalam molekulnya mencirikan sifat semikristalin dari poli laktida. Melalui metode *differential scanning calorimetry* (DSC), poli asam laktat yang diperoleh memiliki temperatur transisi gelas ( $T_g$ ), temperatur kristalisasi ( $T_c$ ), dan temperatur leleh ( $T_m$ ) berturut-turut sebesar 46,83°C, 104,79°C, dan 342,08°C.

**Kata kunci:** biopolimer, poli asam laktat, *ring-opening polymerization*

### PENDAHULUAN

Dewasa ini konsumsi dan kebutuhan manusia terhadap bahan-bahan plastik terus meningkat karena fungsinya yang luas untuk berbagai penggunaan. Semakin banyaknya kebutuhan barang plastik dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan karena limbah plastik sulit terurai atau terdegradasi oleh alam. Konsumsi plastik di Indonesia diproyeksikan dapat meningkat sekitar 0,4 juta ton dalam satu semester (KEMENPERIN, 2018). Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi ditemukan dan sedang berkembang plastik *biodegradable* (dapat terurai).

Plastik *biodegradable* (bioplastik) dirancang untuk mampu terdekomposisi di alam. Salah satu jenis plastik *biodegradable* adalah poli asam laktat (*polylactic acid*). Poli asam laktat atau poli laktida (PLA) dengan rumus kimia  $(\text{CH}_3 - \text{CH}(\text{OH}) - \text{COOH})_n$  adalah sejenis polimer yang diperoleh melalui polimerisasi asam laktat. Asam laktat adalah salah satu sumber terbarukan yang dapat disintesis melalui fermentasi substrat pati atau gula sederhana oleh bakteri (Subaghio, dkk., 2016). Poli asam laktat bersifat termoplastik, memiliki kekuatan tarik dan modulus polimer yang tinggi, berat molekul dapat mencapai 100.000 hingga 500.000, dan titik leleh antara 175 sampai 200°C (Auras, dkk., 2010). Kekurangan PLA adalah mempunyai ketahanan panas, *moisture* dan gas barrier kurang bagus dibanding dengan polietilen tereftalat (PET). Hal lain yang paling penting adalah harganya yang masih tinggi.

PLA dapat dibuat dengan tiga cara, yaitu polikondensasi langsung dari asam laktat (Hyon, dkk., 1998), polimerisasi azeotrop (Dutkiewicz, dkk., 2003), dan polimerisasi pembukaan cincin laktida (*ring-opening polymerization*) yang merupakan dimer siklik asam laktat (Hyon, dkk., 1998). Polimerisasi PLA melalui metode ROP terdiri dari dua tahap, yaitu tahap inisiasi (terjadi ikatan koordinasi antara katalis dengan laktida sampai pada pembukaan cincin laktida dan terbentuknya monomer linier), dan tahap propagasi (Ulya dan Agustini, 2012).

Penelitian terdahulu dengan Metode ROP telah dilakukan oleh Gunawan, dkk (Gunawan, dkk., 2012) tentang pengaruh waktu interaksi polimerisasi asam laktat dengan memvariasikan waktu interaksi yaitu 2, 4, dan 6 jam pada 120°C dan tekanan 1 atm dan diperoleh bahwa pengaruh waktu interaksi polimerisasi asam laktat terhadap PLA dapat mengakibatkan perubahan karakteritik berupa gugus fungsi. Sedangkan (Ulya dan Agustini, 2012) meneliti pengaruh temperatur polimerisasi asam laktat dengan metode ROP dengan memvariasikan temperatur yaitu 100°C (kontrol), 120°C, 140°C, dan 160°C selama 4 jam. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa temperatur polimerisasi PLA melalui metode ROP berpengaruh terhadap viskositas dan berat molekul PLA.

Penelitian ini memodifikasi metode yang dilakukan oleh (Gunawan, dkk., 2012), dan (Ulya dan Agustini, 2012). Modifikasi yang dilakukan adalah perbedaan jenis katalis (menggunakan  $\text{SnCl}_2$ ) dan inisiator (menggunakan xilena).

### METODE PENELITIAN

#### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah L-asam laktat 90%, xilena, katalis  $\text{SnCl}_2$ , etil asetat, dan air suling. Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: labu didih leher tiga, erlenmeyer, *hot plate stirrer*, pompa vakum, *thermo-controller*, *stopwatch*, pipet volume, gelas ukur, viskometer oswalt, *FTIR analyzer* dan *difference scanning calorimetry* (DSC) analyzer (tipe exstar X-DSC7000).

### Prosedur Eksperimen

Sebanyak 20 mL L-asam laktat dimasukkan ke dalam labu didih leher tiga yang telah dihubungkan dengan penghisap vakum 300 mmHg dan dilakukan pemanasan 120°C menggunakan *hotplate stirrer* sambil diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama 2 jam.

Prepolimer yang terbentuk ditambahkan 10  $\mu$ L katalis SnCl<sub>2</sub> kemudian dipanaskan pada 130°C dan diaduk dengan kecepatan 150 rpm serta dihubungkan dengan penghisap vakum 300 mmHg selama 2 jam. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi gugus fungsinya.

Kristal laktida yang terbentuk kemudian ditimbang seberat 10 gr. Kristal laktida dimasukkan pada labu leher tiga 100 mL dengan ditambah katalis SnCl<sub>2</sub> dengan variasi: 0,15%, 0,20%, dan 0,25% (w/w), xylene 32,96  $\mu$ L (0,40% volume) dan dipanaskan secara refluks dengan variasi temperatur: 120°C, 140°C, dan 160°C pada 300 mmHg selama 4 jam. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi gugus fungsi, berat molekul, dan titik leleh.

### Analisis Produk

Karakterisasi produk meliputi penentuan berat molekul PLA, analisis gugus fungsi, dan respon polimer terhadap pemanasan. Berat molekul *poly(L)-lactic acid (PLLA)* ditentukan menggunakan viskometer Ostwald. Waktu alir etil asetat,  $t_0$  dan waktu alir PLA dalam etil asetat  $t$  dengan konsentrasi 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% diukur menggunakan viskometer Ostwald:

$$\eta_{\text{relatif}} = \frac{t}{t_0} \quad (1)$$

$$\eta_{\text{spesifik}} = \frac{t - t_0}{t} \quad (2)$$

$$\eta_{\text{reduksi}} = \frac{\eta_{\text{spesifik}}}{C} \quad (3)$$

Setelah di peroleh viskositas reduksi masing-masing konsentrasi PLA dalam etil asetat, kemudian di plotkan data  $\eta_{\text{reduksi}}$  (ordinat) terhadap konsentrasi PLA dalam etil asetat (absis) dan diregresi dengan persamaan linier:

$$\eta_{\text{reduksi}} = kC + \eta \quad (4)$$

Dalam hal ini, C adalah konsentrasi PLA dalam etil asetat, k adalah gradien regresi, dan  $\eta$  adalah viskositas intrinsik. Berat molekul ditentukan berdasarkan persamaan Mark-Houwink:

$$\eta = k_M M^\alpha \quad (5)$$

Nilai  $k_M$  dan  $\alpha$  merupakan tetapan yang bergantung pada pelarut, polimer, dan temperatur, yang nilainya berturut-turut adalah  $1,58 \times 10^{-4}$  dan 0,78 (Stevens, 2001).

Respon polimer terhadap pemanasan ditentukan menggunakan metode *differential scanning calorimetry (DSC)*. Pada analisis DSC, masing-masing sampel PLA, ditimbang sekitar 0,01 sampai 10 mg dan dimasukkan ke dalam aluminium pan. Kemudian sampel tersebut dicrimp menggunakan crimper. Tipe pan yang sama dengan yang digunakan pada sampel disiapkan dan digunakan sebagai referensi. Sampel dan referensi diletakkan pada tempat sampel di dalam *DSC furnace lid* menggunakan pinset. Analisis dilakukan pada temperatur awal dari 25°C sampai 350°C dan temperatur akhir dari 350°C menjadi 25°C.

Pada analisis gugus fungsi, sampel PLA yang telah jadi ditembakkan dengan sinar infra merah pada daerah frekuensi antara 3500  $\text{cm}^{-1}$  sampai dengan 400  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil serapan gugus fungsional dari senyawa yang ada dalam sampel akan terekam sebagai spektrum IR.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, PLA disintesis melalui tahapan-tahapan: prepolimerisasi, sintesis kristal laktida, dan polimerisasi. Pada tahap prepolimerisasi dihasilkan prepolimer berwarna jernih dan bermassa molekul rendah. Kandungan air pada (L)-asam laktat dihilangkan melalui pemanasan kemudian disedot dengan pompa vakum. Kandungan air dalam (L)-asam laktat akan menghidrolisis polimer yang terbentuk akan terurai kembali menjadi monomernya. Adapun hasil prepolimerisasi asam laktat ditampilkan pada Gambar 1a.

Tahap prepolimerisasi dilanjutkan dengan sintesis laktida. Tahap ini menghasilkan kristal laktida yang terbentuk dari uap prepolimer yang didinginkan oleh pompa vakum sehingga tersublimasi menjadi kristal jernih menjarum. Reaksi yang terjadi adalah esterifikasi dengan bantuan katalis SnCl<sub>2</sub>. Tujuan proses ini adalah menghasilkan berat molekul tinggi dan tidak memproduksi tambahan air, karena produk samping (air) yang dihasilkan pada polimerisasi kondensasi PLA harus dihilangkan agar bobot PLA yang diperoleh tidak mengandung air yang akan mengurangi persentase rendemen yang dihasilkan. Hasil sintesis laktida seperti terlihat pada Gambar 1b.

Tahap akhir dari pembuatan PLA ini adalah polimerisasi melalui pemanasan pada tekanan 1 atm. Polimer dengan berat molekul tinggi ini dapat terbentuk karena polimer bebas dari pelarut, seperti air. Air dapat menghidrolisis polimer yang terbentuk sehingga ikatan polimer terputus dan kembali menjadi monomer monomernya. PLA yang dihasilkan

memiliki struktur yang lebih keras dan kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan kristal laktida. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 1c.



**Gambar 1.** Produk yang diperoleh dari tahap-tahap sintesis PLA, yaitu prepolimerisasi (a), sintesis laktida (b), dan polimerisasi (c).

### Penentuan Berat Molekul PLA

Berat molekul PLA ditentukan menggunakan viskometer Ostwald dengan pelarut etil asetat pada konsentrasi 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%. Tabel 1 menunjukkan adalah hasil pengukuran viskositas polimer yang dibuat dengan konsentrasi katalis 0,2% dan temperatur 160°C.

**Tabel 1.** Hasil pengukuran viskositas polimer yang disintesis dengan konstentrasi katalis 0,2% pada 160°C

Konsentrasi (C)	Berat Sampel (g)	Volume Pelarut (mL)	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
0,00	0	100	1,78	1,76	1,78
0,20	0,2	100	1,94	1,96	1,98
0,30	0,3	100	2,04	2,02	2,03
0,40	0,4	100	2,04	2,05	2,05
0,50	0,5	100	2,13	2,13	2,14

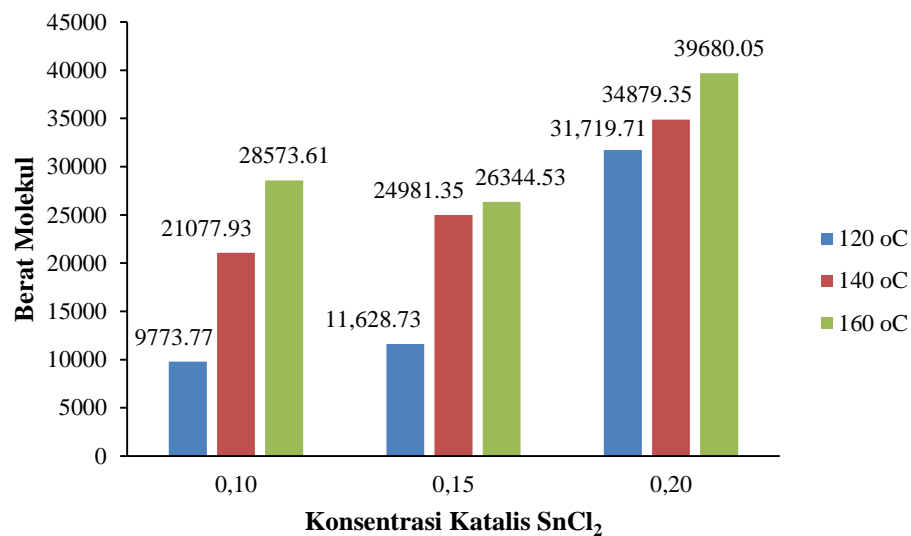
Plot konsentrasi terhadap waktu rata-rata, dan dengan regresi linier menggunakan persamaan (4) diperoleh nilai viskositas intrinsik polimer. Berat molekul-rata-rata polimer dihitung menggunakan persamaan (5) sesuai nilai viskositas intrinsik yang dihasilkan. Untuk sembilan kali percobaan dilakukan dengan variasi temperatur: 120°C, 140°C, dan 160°C serta variasi konsentrasi katalis SnCl<sub>2</sub>, yaitu: 0,10%, 0,15% dan 0,20% w/w pada waktu tetap, 4 jam diperoleh berat molekul polimer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa berat molekul polimer proporsional terhadap kenaikan temperatur begitu juga dengan peningkatan konsentrasi katalis SnCl<sub>2</sub> untuk waktu reaksi 4 jam.

### Analisis Gugus Fungsi

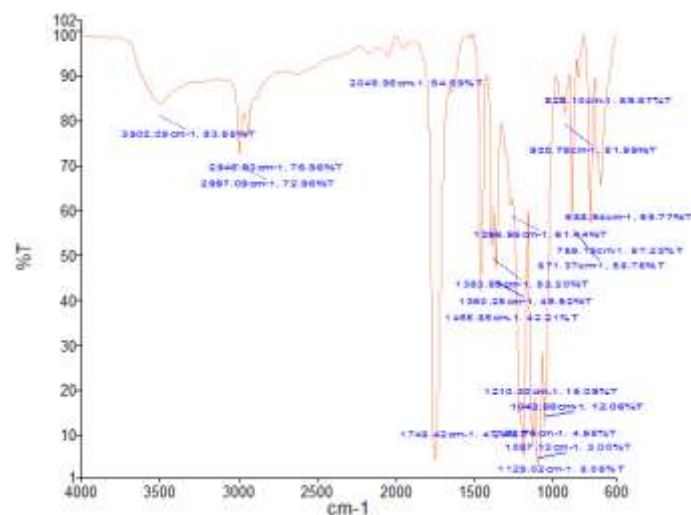
Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dalam molekul PLA. Produk yang diambil adalah dengan berat molekul terbaik, yang disintesis pada 160°C dengan konsentrasi katalis 0,2%. Spektrum yang dihasilkan seperti pada Gambar 3. Spektrum inframerah PLA sintesis secara jelas memperlihatkan regangan O-H dengan indikasi kuat terbentuknya ikatan hidrogen, sebagaimana terlihat dari puncak lebar di daerah bilangan gelombang 3571 cm<sup>-1</sup>(\*), 3502,05 cm<sup>-1</sup>, 3502,50 cm<sup>-1</sup> dan 3502,05cm<sup>-1</sup>. Gugus fungsi -OH pada PLA menandakan PLA bersifat semikristalin (Auras, dkk., 2010). Polimer yang membentuk pada daerah kristalin akan lebih kuat karena rantai-rantainya tersusun rapat, meski kurang fleksibel.

Gugus karbonil sebagai regangan C=O ditunjukkan pada bilangan gelombang 1759 cm<sup>-1</sup>(\*), 1748,21 cm<sup>-1</sup>, 1747,93 cm<sup>-1</sup> dan 1748,42 cm<sup>-1</sup>. Gugus hidroksil serta ikatan hidrogen yang menghilang pada PLA sebagai akibat telah terjadinya polimerisasi. Gugus metilen sebagai regangan C-H tampak semakin kuat di daerah bilangan gelombang 2946-2997 cm<sup>-1</sup> (\*), 2946,36 sampai 2996.69cm<sup>-1</sup>, 2946,22 sampai 2996.49 cm<sup>-1</sup> dan 2946.93 sampai 2996,02 cm<sup>-1</sup>. Spektrum ini membuktikan telah terbentuknya PLA melalui metode Ring Opening Polimerisasi (ROP) dari asam laktat.





Gambar 2. Berat molekul polimer pada variasi temperatur dan konsentrasi katalis.

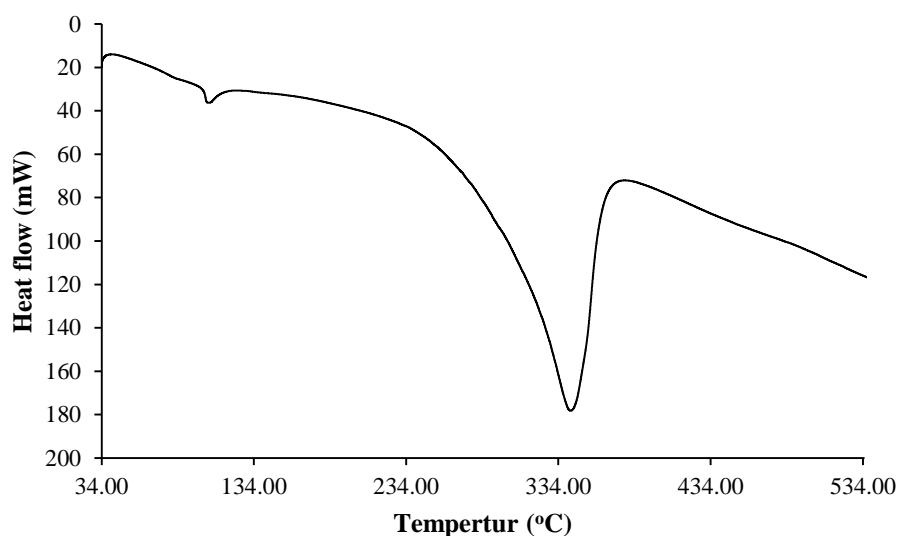


Gambar 3. Spektrum FTIR PLA yang disintesis pada 160°C dengan konsentrasi katalis 0,2%.

Atom hidrogen yang bermuatan positif pada gugus  $-CH_3$  akan tertarik kuat pada oksigen yang bermuatan negatif pada gugus  $C=O$ . Ikatan hidrogen yang kuat akan mengakibatkan kenaikan kuat tarik dan titik leleh. Adanya interaksi antara  $CH$  dan  $O=C$  akan membentuk ikatan hidrogen (Auras, dkk., 2010) dan juga adanya interaksi van der Waals antara hidrogen dari gugus  $CH_3$  dan oksigen dari gugus  $O=C$ . Ikatan hidrogen antara  $CH_3$  dan  $O=C$  merupakan *driving force* (gaya pendorong) terjadinya nukleasi dari kristalit PLA stereokompleks (Auras, dkk., 2010). Gugus fungsi metil simetrik dengan gugus fungsi karbonil berupa ikatan hidrogen  $CH$  dan  $O=C$  yang memungkinkan terbentuknya struktur stereokompleks.

#### Analisis Sifat Termal

Analisis DSC berdasarkan pada jumlah energi yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu dan suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi terhadap temperatur tertentu. Melalui analisis DSC dapat ditentukan temperatur polimer pada perubahan kaku ke elastis (transisi gelas,  $T_g$ ), pada pembentukan kristal (transisi kristalinitas,  $T_c$ ), dan pada transisi fasa padat ke cair (transisi lebur,  $T_m$ ).



**Gambar 4.** Spektrum DSC dari PLA yang disintesis pada 160°C dengan konsentrasi katalis 0,2%.

Hasil analisis DSC polimer yang disintesis pada 160°C dengan konsentrasi katalis 0,2% ditunjukkan pada Gambar 4. Dari grafik diketahui bahwa polimer mempunyai  $T_g$ ,  $T_c$ , dan  $T_m$  berturut-turut 46,83°C, 104,79°C, dan 342,08°C. PLA standar memiliki nilai  $T_g$ ,  $T_c$ , dan  $T_m$  berturut-turut 0 sampai 50°C, 50 sampai 100°C, dan 150 sampai 200°C (Auras, dkk., 2010). Temperatur transisi terbentuknya kristal sedikit lebih tinggi dari standarnya. Peningkatan kristalinitas dijelaskan dengan spektrum FTIR mendeteksi adanya interaksi antara PLLA pada bagian hidroksil pada ujung terminal rantai PLLA membentuk ikatan hidrogen yang dapat menginduksi proses kristalisasi PLLA, sehingga dapat meningkatkan kristalinitas PLA (Mattiason, dkk., 2009). Temperatur transisi lebur polimer juga lebih tinggi dibanding PLA standar. Hal ini diakibatkan oleh atom hidrogen yang bermuatan positif pada gugus  $-CH_3$  tertarik kuat ke oksigen yang bermuatan negatif pada gugus  $C=O$ . Ikatan hidrogen yang kuat akan berimbas ada naiknya kuat tarik dan titik leleh. Dengan temperatur ( $T_m$ ) yang tinggi, PLA dapat digunakan untuk pengemas produk yang memiliki suhu tinggi (di bawah suhu pengemasan) (Paramawati, dkk., 2001). Jika temperatur bahan polimer naik, maka pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi. Hal ini dapat menyebabkan modulus elastik dan kekerasannya rendah. Sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya lebih besar (Auras, dkk., 2010).

#### KESIMPULAN

Kenaikan temperatur reaksi dari 120°C hingga 160°C dan juga konsentrasi katalis  $SnCl_2$  dari 0,10% hingga 0,20% untuk waktu reaksi 4 jam berpengaruh terhadap naiknya berat molekul PLA yang dihasilkan. Hasil terbaik diperoleh pada temperatur 160°C dan konsentrasi katalis  $SnCl_2$  0,20% dengan berat molekul tertinggi, yaitu 39680,045. PLA sintesis yang dihasilkan bersifat semikristalin, hal ini ditunjukkan oleh adanya gugus  $-OH$  dari hasil analisis FTIR.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis diharapkan menuliskan ucapan terima kasih atas pendanaan penelitian ini melalui hibah DIPA Fakultas Teknik Universitas Lampung tahun 2018.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Auras, L., Lim, L., Selke, S. E. M., dan Tsuji, H. (2010) POLY(LACTIC ACID): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Dutkiewicz, S., Grochowska-Lapienis, D., dan Tomaszewski, W. (2003) Synthesis of Poly(L+) Lactic Acid by Polycondensation Method in Solution, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 11(4), 66-70.
- Gunawan, Rasmita, A., Agustini, R., Ismono, dan Hamzah (2012) Pengaruh Waktu Interaksi Polimerisasi Asam Laktat terhadap Karakteristik Polimer Poly(L)-Lactic Acid (PLLA) dari L-Asam Laktat sebagai Bahan Baku Plastik Biodegradable, *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa*, Surabaya, 25 Pebruari 2012.
- Hyon, S., Jamshidi, K. & Ikada, Y. (1998) Synthesis of Polylactides with Different Molecular Weights. *Biomaterials*, 18, 1503-1508.
- KEMENPERIN (2018) Berita Industri, Tersedia pada <http://www.kemenperin.go.id/artikel/6262/>, Diakses pada 25 Agustus 2018.
- Mattiason, B., Kumar, A. & Galaev, I. Y. (eds.) (2009) Macroporous Polymer, CRC Press, Boca Raton.
- Paramawati, R., Yoshino, T., dan Isobe, S. (2001) Properties of Plasticized-Zein Film as Affected by Plasticizer Treatments. *Food Science and Technology Research*, 7(3), 191-194.



- Stevens, M. P., (2001) Kimia Polimer, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Subaghio, M. A., Ni'mah, H., Novarida, P., dan Sumarno (2016) Sintesa dan Karakterisasi Biokomposit Material dari Biodegradable Polimer Poly L-Lactic Acid (PLLA) dan Selulosa, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Yogyakarta, 17 Maret 2016.
- Ulya, M. & Agustini, R. (2012) Polymerization Temperature Effect of L-Lactic Acid by Ring Opening Polymeization (ROP) Method on Polylactic Acid (PLA) Characteistics, *UNESA Journal of Chemistry*, 1(1), 66-74.