# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam kehidupan modern kita, bahan polimer sudah umum dan dapat ditemukan hampir di mana-mana. Karena biayanya yang rendah, ringan, dan mudah diproses, plastik komoditas dapat digunakan dalam berbagai macam produk, mulai dari barang konsumsi hingga aplikasi teknis. Banyak inisiatif telah diluncurkan untuk mengurangi jumlah sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir, dan salah satu target yang jelas adalah kemasan plastik. Meskipun menerapkan upaya daur ulang dan pembakaran, ini tidak cukup, karena kita berhadapan dengan pembuangan massal. Biodegradasi merupakan suatu proses penguraian suatu senyawa kompleks menjadi suatu senyawa yang lebih sederhana seperti air dan karbondioksida. Pada proses penguraian ini mengubah integritas molekuler melalui aktivitas mikroorganisme. Dalam beberapa tahun terakhir, komposit asam *polylactic acid* (PLA) dan *polycaprolactone*. PLA adalah material yang tepat untuk implan karena memiliki sifat biokompatibilitas, biodegradibilitas, dan tidak beracun (Hanif dkk, 2024).

PLA adalah poliester alifatik yang terdiri dari blok asam laktat, atau asam 2- hidroksipropanoat. Blok penyusun polimer PLA sintetis adalah asam laktat, yang diisolasi pertama kali oleh ahli kimia Swiss Scheele pada tahun 1700-an, dan aplikasi biomedis pertamanya adalah dalam perbaikan fraktur mandibula pada anjing. Salah satu aplikasi revolusioner PLA yang saat ini sedang diselidiki adalah pencetakan 3D. Printer 3D akan memperluas kemungkinan dalam rekayasa biomedis, memungkinkan banyak aplikasi untuk PLA, yang akan digunakan secara luas sebagai matriks ekstraseluler sementara untuk rekayasa jaringan. Biodegradabilitas merupakan faktor penting bagi bidang biomedis dan lingkungan. Degradasi PLA melibatkan berbagai mekanisme, yang masingmasing berkontribusi terhadap kerusakannya. Mekanisme ini meliputi proses hidrolitik, oksidatif, termal, mikroba, enzimatik, kimia, dan fotodegradatif. Hidrolisis memainkan peran penting dalam degradasi PLA, karena menyebabkan pemutusan ikatan ester, yang

mengakibatkan pembentukan oligomer dan monomer asam laktat (Khouri et al., 2024).

PLA dapat didaur ulang, ramah lingkungan, hemat energi, dengan proses termal yang lebih baik, dibandingkan dengan biopolimer lain seperti PHA, poli(etilen glikol) (PEG), poli(-kaprolakton) (PCL), dan sebagainya. Karena tingkat kristalisasi yang rendah, PLA memiliki waktu siklus cetak injeksi yang panjang, dengan sensitivitas yang tinggi terhadap kelembapan dan ketahanan yang rendah terhadap hidrolisis (Dana and Ebrahimi, 2023).

Penelitian terdahulu telah mensintesis polilaktida (PLA) dari asam laktat dengan metode polimerisasi pembukaan cincin menggunakan katalis lipase, dengan memvariasikan konsentrasi katalis SnCl2 dan temperatur proses polimerisasi. Melakukan penelitian pengaruh konsentrasi dan temperatur polimerisasi pada sintesis Poli Laktida dengan Metode Ring Opening Polymerization. Serta meneliti pengaruh temperatur polimerisasi asam laktat dengan metode ROP dengan memvariasikan temperatu yaitu 100ºC (control), 120ºC, 140ºC dan 160ºC selama 4 jam. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa temperatur polimerisasi PLA melalui metode ROP berpengaruh terhadap viskositas dan berat molekul PLA (Azwar dkk, 2024).

Katalis yang digunakan pada metode ROP biasanya katalis yang berbasis logam. Zirconium (Zr) telah menarik perhatian sebagai katalis potensial dalam polimerisasi L-laktida untuk produksi polilaktida (PLA), sebuah polimer biodegradabel yang ramah lingkungan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa sistem katalis berbasis Zr menawarkan aktivitas tinggi dan selektivitas dalam proses polimerisasi ini. Misalnya, sebuah studi melaporkan bahwa katalis Zr mampu menghasilkan PLA dengan berat molekul tinggi dan distribusi molekul yang sempit, yang penting untuk aplikasi industry. Katalis berbasis zirconium memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi dalam proses *ring-opening polymerization* (ROP) monomer laktida untuk menghasilkan polilaktida (PLA) dengan berat molekul besar dan distribusi molekul yang sempit. Sistem katalis ini juga dinilai lebih aman dibandingkan katalis berbasis timah ($Sn(Oct)_2$) yang lazim digunakan, karena meninggalkan residu logam toksik yang dapat menghambat aplikasi biomedis PLA. Meskipun demikian, penelitian tersebut masih berfokus pada skala industri dan

belum mengevaluasi secara mendalam performa katalis zirconium dalam menghasilkan PLA yang spesifik untuk aplikasi biomaterial, seperti biokompatibilitas, kestabilan termal, serta sifat degradasinya di lingkungan biologis (Buchard et al., 2023).

keberhasilan sintesis poli-L-laktida (PLA) untuk aplikasi biomedis tidak hanya ditentukan oleh efisiensi reaksi polimerisasi, tetapi juga oleh biokompatibilitas katalis yang digunakan. Katalis tradisional berbasis logam berat seperti *stannous octoate* [$Sn(Oct)_2$] memiliki aktivitas tinggi, namun meninggalkan residu logam yang berpotensi menimbulkan toksisitas dan menurunkan keamanan material dalam aplikasi medis jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian tersebut menggarisbawahi pentingnya pengembangan katalis alternatif non-toksik berbasis logam seperti titanium (Ti) dan zirconium (Zr), yang memiliki karakter kimia lebih stabil dan menghasilkan polimer dengan tingkat kemurnian tinggi. Zirconium khususnya disebut memiliki keunggulan berupa kestabilan termal dan kemampuan menghasilkan polilaktida dengan distribusi berat molekul sempit tanpa reaksi samping yang signifikan, sehingga dianggap sebagai kandidat katalis biokompatibel paling potensial untuk produksi PLA medis (Gajadhur dan Ruskowski, 2020).

Dalam bidang biomedis, polilaktida (PLA) telah banyak dikembangkan sebagai material utama untuk aplikasi seperti *tissue engineering scaffold*, *drug delivery system*, dan implan biodegradabel karena sifat biokompatibilitas dan degradasinya yang baik di dalam tubuh. Namun, penelitian terkini menunjukkan bahwa kualitas dan keamanan PLA sangat bergantung pada kemurnian produk akhir serta jenis katalis yang digunakan selama proses sintesis. Katalis logam berat seperti $Sn(Oct)_2$ masih menjadi perhatian karena dapat meninggalkan residu berpotensi toksik yang tidak sesuai dengan standar biomaterial. Oleh sebab itu, pengembangan katalis alternatif berbasis zirconium menjadi sangat penting untuk menghasilkan PLA dengan kemurnian tinggi, kestabilan termal yang baik, dan sifat mekanik yang sesuai untuk aplikasi biomedis. Studi lanjutan yang memanfaatkan katalis bis(acetil acetonato) zirconium(IV) diharapkan dapat menjawab tantangan tersebut dengan menghasilkan PLA yang memiliki karakteristik struktural dan

fungsional lebih unggul untuk digunakan sebagai biomaterial yang aman, efisien, dan ramah lingkungan (Rodriguez et al., 2023).

Pada penelitin (Tembusai, 2023) sebelum nya, melakukan Polimerisasi L-Laktida dengan menggunakan katalis Bis(Dibenzoylmethanato) Zirconium(IV) menghasilkan berat molekul 48.175 gram/mol dan PLLA bersifat semikristalin, yang ditandai dengan terbentuknya tiga puncak fase kristal yang kuat pada 18,9$^{o}$, 16,5$^{o}$, dan 14,9$^{o}$ serta fase amorf yang teramati. Sehingga atas dasar itu, peneliti tertarik untuk meneliti mengenai "Polimerisasi L-laktida Menggunakan Katalis Bis(AsetilAsetonato) Zirconium(IV) Chloride" sebagai acuan lain untuk pengaplikasian PLA dalam berbagai sektor.

Keunggulan utama dari penelitian ini terletak pada pemanfaatan katalis alternatif berupa bis(asetil asetonato) zirconium(IV) [$Zr(acac)_2$] dalam proses polimerisasi L-laktida melalui metode ring opening polymerization (ROP). Selama ini, katalis yang paling umum digunakan dalam sintesis PLA adalah stannous octoate ($Sn(Oct)_2$), yang meskipun efektif, memiliki kelemahan signifikan seperti tingkat toksisitas yang tinggi, harga yang relatif mahal, dan kebutuhan proses pemurnian yang ketat untuk menghilangkan residu logam berat. Penggunaan $Zr(acac)_2$ sebagai katalis menawarkan sejumlah keunggulan, di antaranya toksisitas yang lebih rendah, stabilitas termal yang baik, serta potensi untuk menghasilkan PLA dengan distribusi berat molekul yang lebih terkontrol. Selain itu, katalis ini masih jarang dilaporkan dalam penelitian sintesis PLA, sehingga memberikan kontribusi ilmiah baru yang signifikan. Dalam konteks pengembangan poli-L-laktida (PLA) untuk aplikasi biomedis, faktor-faktor seperti stereokimia, berat molekul, serta kemurnian residu katalis memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kualitas dan keamanan material yang dihasilkan. Distribusi stereokimia yang tidak terkontrol atau tingginya kandungan logam sisa dari proses sintesis dapat mempercepat degradasi material, menurunkan biokompatibilitas, bahkan menimbulkan reaksi toksik pada jaringan biologis. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lanjutan yang berfokus pada penggunaan katalis non-toksik dengan kemampuan mengontrol reaksi polimerisasi secara lebih selektif (Khouri et al., 2024).

Dengan demikian, pendekatan yang diusulkan dalam penelitian ini tidak hanya menawarkan proses yang lebih ramah lingkungan, tetapi juga mendukung efisiensi dan keamanan dalam produksi PLA untuk berbagai aplikasi, termasuk bidang biomedis dan industri kemasan ramah lingkungan.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang menjadi dasar penelitian ini sebagai berikut:

1. Tingginya toksisitas katalis konvensional berbasis logam berat seperti stannous octoate [$Sn(Oct)_2$] masih menjadi kendala utama dalam sintesis poli-L-laktida (PLA), karena residu logam yang dihasilkan dapat menurunkan biokompatibilitas dan membatasi penggunaan PLA pada aplikasi biomedis.
2. Keterbatasan penelitian terdahulu yang masih berfokus pada katalis Sn dan Ti, sedangkan studi mengenai katalis berbasis zirconium, khususnya kompleks bis(asetil asetonato) zirconium(IV) [$Zr(acac)_2$], masih sangat sedikit dilakukan, padahal katalis ini berpotensi memiliki aktivitas tinggi dan toksisitas rendah.
3. Belum adanya data komprehensif mengenai performa katalis $Zr(acac)_2$ dalam proses ring-opening polymerization (ROP) terhadap parameter penting seperti berat molekul, rendemen, distribusi molekul, serta sifat kristalinitas dari PLA yang dihasilkan.
4. Kurangnya kajian mengenai pengaruh katalis terhadap karakteristik biomaterial PLA, terutama biokompatibilitas, kestabilan termal, dan laju degradasi, yang sangat menentukan kelayakan PLA sebagai bahan biomaterial untuk aplikasi medis seperti scaffold, drug delivery system, dan implan biodegradabel.
5. Belum adanya perbandingan langsung antara hasil sintesis PLA menggunakan katalis $Zr(acac)_2$ dengan penelitian terdahulu, misalnya katalis bis(dibenzoylmethanato) zirconium(IV), sehingga efektivitas katalis $Zr(acac)_2$ dalam meningkatkan kualitas dan kemurnian PLA masih perlu dibuktikan secara eksperimental.

## 1.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini berfokus pada polimerisasi L-laktida menggunakan katalis spesifik, yaitu Bis(AsetilAsetonato) Zirconium(IV) dengan mengukur kinerja katalis Bis(AsetilAsetonato) Zirconium(IV) dalam proses Ring Opening Polymerization (ROP). Sehingga hasil polimerisasi dapat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk mengevaluasi peningkatan kualitas PLA.

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Monomer l-laktida yang digunakan diperoleh dari *sigma aldrich*
2. Katalis bis(asetilasetonato) *zirconium*(IV) *chloride* yang digunakan telah disintesis oleh peneliti sebelumnya.
3. Polimerisasi laktida hanya sebatas menggunakan katalis bis(asetilasetonato) *zirconium*(IV) *chloride* untuk menghasilkan poli asam laktat

## 1.5 Rumusan Masalah

Berikut adalah masalah yang menjadi fokus penelitian sesuai dengan yang telah diuraikan pada latar belakang.

1. Bagaimana proses sintesis dan reaksi polimerisasi L-laktida menggunakan katalis bis(asetilasetonato) zirconium(IV) chloride dalam menghasilkan Poli Asam Laktat (PLA)?
2. Bagaimana hasil rendemen dan Derajat Polimerisasi dari Poli Asam Laktat (PLA)?
3. Bagaimana hasil uji FT-IR, XRD, dan viskositas dari Poli Asam Laktat (PLA) yang dihasilkan?

## 1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan diatas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk memperoleh Poli Asam Laktat menggunakan katalis bis(asetilasetonato) *zirconium* (IV) *chloride*
2. Mengetahui hasil rendemen dan Derajat Polimerisasi dari Poli Asam Laktat (PLA)
3. Mengetahui hasil uji FT-IR, XRD, dan viskositas dari Poli Asam Laktat (PLA) yang dihasilkan

## 1.7 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengembangkan poli asam laktat (PLA) sebagai alternatif plastik ramah lingkungan dengan memanfaatkan katalis Bis(AsetilAsetonato) Zirconium(IV). Hasilnya diharapkan meningkatkan kualitas PLA, seperti berat molekul tinggi dan sifat mekanis optimal, sekaligus mendukung produksi yang lebih efisien dan ekonomis. Secara ilmiah, penelitian ini memperluas pemahaman tentang katalis berbasis zirconium, sementara secara praktis, mendukung pengurangan dampak limbah plastik terhadap lingkungan melalui pengembangan plastik biodegradable yang berkelanjutan dan menjadikan PLA sebagai biomaterial medis yang diperhitungkan.