

Metode Baru Perhitungan Viskositas Intrinsik Dan Berat Molekul Polihidroksialkanoat Untuk Produksi Plastik Biodegradable

M. Zikrillah¹, Maktum Muharja^{1*}, Rizki Fitria Damayanti², M. Wildan Ibnu Batuthoh¹, Achri Isnain Khamil¹

¹ Universitas Negeri Jember

² Universitas Muhammadiyah Jember

e-mail Correspondensi: maktum@unej.ac.id *

ABSTRAK

Polyhydroxyalkanoates (PHA) merupakan jenis polimer yang termasuk dalam plastik biodegradable. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan viskositas intrinsik dan berat molekul dari *Polyhydroxyalkanoates* menggunakan metode Mark-Houwink. PHA dengan konsentrasi 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 gr/ml diumpungkan ke dalam labu ukur yang berisi larutan kloroform (CHCl_3) dengan konsentrasi 50 ml lalu diaduk selama 4 jam, Setelah itu larutan dialirkan ke dalam kolom viskometer dengan kisaran waktu 1 menit. Berat molekul diukur dengan menggunakan metode Mark-Houwink. Hasil berat molekul yang diperoleh sebesar 621266.881 g/mol.

Kata kunci: Viskositas Intrinsik; Berat Molekul; Polyhydroxyalkanoates; Mark-Houwink; CHCl_3

ABSTRACT

Polyhydroxyalkanoates (PHA) is a type of polymer that is included in biodegradable plastics. This study aims to calculate the intrinsic viscosity and molecular weight of *Polyhydroxyalkanoates* using the Mark-Houwink method. PHA with a concentration of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 gr/ml is fed into a volumetric flask containing a solution of chloroform (CHCl_3) with a concentration of 50 ml and stirred for 4 hours. After that, the solution is flowed into the viscometer column for 1 minute. . Molecular weight was measured using the Mark-Houwink method. The molecular weight results obtained were 621266.881 g/mol.

Keywords: Intrinsic Viscosity; Molecular Weight; Polyhydroxyalkanoates; Mark-Houwink; CHCl_3

PENDAHULUAN

Plastik digunakan di hampir setiap industri manufaktur mulai dari mobil hingga obat-obatan. Plastik sangat menguntungkan karena sebagai polimer sintetik, strukturnya dapat dimanipulasi secara kimia untuk memiliki berbagai kekuatan dan bentuk. mereka memiliki berat molekul mulai dari 50.000 sampai 1.000.000 Da (Bengtsson et al., 2010). Polietilen sintetik, polivinil klorida, dan polistiren sebagian besar digunakan dalam pembuatan plastik. Plastik dapat dengan mudah dibentuk menjadi hampir semua bentuk yang diinginkan termasuk serat dan film tipis. Mereka memiliki ketahanan kimia yang tinggi dan kurang lebih elastis, karenanya populer di banyak barang tahan lama, pembuangan barang dan sebagai bahan pengemas.

Apa yang membuat plastik tidak diinginkan adalah kesulitan dalam pembuangannya. Plastik menjadi xenobiotik bandel terhadap degradasi mikroba (Bengtsson et al., 2010). Ukuran molekul yang berlebihan tampaknya terutama bertanggung jawab atas ketahanan bahan kimia ini terhadap biodegradasi dan persistensinya di tanah untuk waktu yang lama (Higuchi-Takeuchi et al., 2016). Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan perhatian publik atas efek berbahaya dari bahan plastik turunan petrokimia di lingkungan. Mekanisme bawaan alam dan kemampuan pengaturan diri tidak dapat menangani polutan baru karena ini tidak dikenalnya.

Hal ini telah mendorong banyak negara untuk mulai mengembangkan plastik biodegradable. Menurut perkiraan, lebih dari 100 juta ton plastik diproduksi setiap tahun. Konsumsi plastik per kapita di Amerika Serikat adalah 80, 60 Kg di negara-negara Eropa dan 2 Kg di India (Higuchi-Takeuchi et al., 2016). Empat puluh persen dari 75 miliar pon plastik yang diproduksi setiap tahun dibuang ke tempat pembuangan sampah. Beberapa ratus ribu ton plastik dibuang ke lingkungan laut

setiap tahun dan terakumulasi di wilayah laut. Membakar plastik menjadi salah satu pilihan dalam mengatasi plastik yang tidak dapat terurai, namun selain mahal juga berbahaya.

Bahan kimia berbahaya seperti hidrogen klorida dan hidrogen sianida dilepaskan selama pembakaran (A. Masuelli, 2018). Daur ulang juga menghadirkan beberapa kelemahan utama, seperti sulitnya menyortir berbagai macam plastik dan ada juga perubahan pada bahan plastik sehingga jangkauan aplikasi lebih lanjut menjadi terbatas (Izunobi & Higginbotham, 2011; Kale et al., 2007). Penggantian non-biodegradable oleh plasticis yang dapat terdegradasi menjadi perhatian utama baik bagi pengambil keputusan maupun industri plastic (Onen Cinar et al., 2020). Membuat produk ramah lingkungan seperti bioplastik adalah salah satu realitas yang dapat membantu kita mengatasi masalah pencemaran yang disebabkan oleh plastik yang tidak dapat terurai. Dengan demikian, menjadi tak terelakkan bagi kita untuk memperbaiki metode produksi, pemilihan bahan baku, daur ulang, konversi ke bentuk limbah tertentu yang sesuai, sehingga kita tidak menambahkan limbah material apa pun ke lingkungan yang tidak dapat ditangani oleh alam (Bilo et al., 2018).

PHA adalah poliester dari berbagai hidroksialkanoat yang disintesis oleh banyak bakteri gram positif dan gram negatif dari setidaknya 75 genera berbeda. Polimer ini terakumulasi intraseluler ke tingkat setinggi 90% dari berat kering sel dalam kondisi stres nutrisi dan bertindak sebagai cadangan karbon dan energi (Habibah et al., 2019). PHA non-penyimpanan dengan berat molekul rendah, poli(3HB), telah terdeteksi di membran sitoplasma dan sitoplasma *Escherichia coli*. Ini juga merupakan konstituen membran dalam ragi, tumbuhan dan hewan. Fungsi diduga termasuk peran dalam saluran kalsium tegangan-gated atau transportasi DNA, perlindungan makromolekul, yang terikat, dari enzim degradative (Fadilah et al., 2023; Fitriati et al., 2021; Yigit et al., 2019). Lebih dari 100 unit monomer yang berbeda telah diidentifikasi sebagai konstituen PHA penyimpanan. Ini menciptakan kemungkinan untuk memproduksi berbagai jenis polimer yang dapat terbiodegradasi dengan berbagai sifat. Massa molekul PHA berkisar antara 50.000–1.000.000 Da dan bervariasi dengan PHA produsen. Unit monomer semuanya masuk Konfigurasi D(-) karena stereospesifitas enzim biosintetik (Fadilah et al., 2022; Muharja, Fadilah, et al., 2023; Reddy et al., 2022). Polyhydroxybutyrate yang diproduksi bakteri dan PHA lainnya memiliki massa molekul yang cukup tinggi untuk memiliki karakteristik polimer yang mirip dengan plastik konvensional seperti polypropylene poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) adalah yang terbaik dikarakterisasi PHA (Aznury & Setiadi, 2021; Muharja, Darmayanti, Khamil, et al., 2023; Setiadi et al., 2015).

Komposisi PHA yang dihasilkan tergantung pada substrat pertumbuhan yang digunakan (Setiadi et al., 2015; Tsuge, 2016). MSC-PHA juga disintesis dari karbohidrat, tetapi komposisinya tidak terkait dengan sumber karbon (Frijns-Bruls et al., 2019; Ganesh Saratale et al., 2021; Reddy et al., 2022)). Msc-PHA memiliki tingkat kristalinitas yang jauh lebih rendah daripada PHB atau P (3HB-3HV) dan lebih elastis. Mereka memiliki rentang aplikasi yang berpotensi berbeda dibandingkan dengan ssc-PHA (Reddy et al., 2022; Sharma et al., 2021). Sebagian besar mikroba mensintesis ssc-PHA yang terutama mengandung unit 3HB atau msc-PHA yang mengandung 3-hydroxyoctanoate (3HO) dan 3-hydroxydecanoate (3HD) sebagai monomer utama (Bilo et al., 2018; Ganesh Saratale et al., 2021). PHA diproduksi dari berbagai substrat seperti sumber daya terbarukan (sukrosa, pati, selulosa, triasilgliserol), sumber daya fosil (metana, minyak mineral, lignit, batubara keras), produk sampingan (molase, whey, gliserol), bahan kimia (asam propionat, asam 4-hidroksibutirat) dan karbon dioksida (Muharja et al., 2022; Muharja, Darmayanti, Fachri, et al., 2023; Perez-Zabaleta et al., 2021).

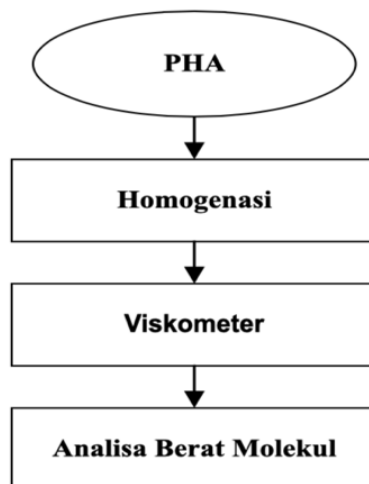
METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini antara lain Chlorofom untuk pelarut dan biji Plastik Polihidroksialkanoat

Peralatan

Alat yang digunakan adalah neraca analitik untuk menimbang bahan baku, *hot plate* dan *stirrer* (Cimarec) untuk homogenasi, Viskometer (DV2TRV) untuk uji viskositas.



Prosedur Pengukuran Viskositas untuk Penentuan Berat Molekul Rata-Rata

Penimbangan sampel PHA dengan menggunakan neraca analitik yang akan digunakan untuk diuji viskositas sebesar (0.1g, 0.2 g, 0.3 g, 0.4 g). Persiapan Pelarut: 50 mL kloroform digunakan sebagai pelarut pada setiap sampel dan kloroform yang digunakan diukur dalam labu ukur. Persiapan Solusi dan Tindakan yang Diambil untuk Memelihara Jumlah Pelarut: kloroform terukur, PHA dan batang pengaduk magnet yang membuat campuran homogen ditempatkan dalam labu ukur. Karena kloroform adalah bahan yang mudah menguap, labu ini disegel agar kedap udara. Setiap kehilangan kloroform menghasilkan perbedaan antara konsentrasi target dan konsentrasi yang diperoleh, Ini juga menyebabkan hasil yang salah (Huang et al., 2020).

Labu ditempatkan pada pengaduk magnet yang diatur pada 250 putaran per menit pada suhu kamar selama 4 jam untuk mendapatkan larutan yang homogen. Ketika larutan menjadi homogen, labu diambil dari pengaduk magnet dan viskositas campuran diukur dengan alat viskometer. Pengukuran dilakukan dengan viskometer DV2TRV. Viskometer ini mampu mengukur dengan ketelitian 0,01 cP (Yigit et al., 2019).

Table 1.Konstanta persamaan untuk PHA & kloroform

Sistem Pelarut Polimer	$K \times 10^3 \text{ml/g}$	α (Konstanta Persamaan)
PHA-Kloroform	0.0118	0.78

Persamaan dan ekspresi yang digunakan untuk mengukur berat molekul viskositas larutan, hasilnya digunakan untuk mendapatkan viskositas relatif dan viskositas spesifik, viskositas berkurang, viskositas inheren, viskositas intrinsik. Dapat dihitung viskositas intrinsik yang digunakan dalam persamaan Mark-Houwink (Yacob et al., 2011, 2013). Di mana η (viskositas intrinsik), M (berat molekul) dan α , konstanta K untuk sistem pelarut polimer tertentu. Pelarut yang tepat untuk menghasilkan PMMA dalam penelitian ini adalah toluena dan nilai tetapnya disajikan pada Tabel 1. Hasil dengan uji berat molekul viskosimetri ditentukan dan persamaan Mark-Houwink. η ditentukan sebagai titik potong sumbu y, k konstan untuk toluena (0.0118 ml/g), α konstan untuk toluen (0,78) sebagai pelarut, M=Rata-rata Berat Molekul, dibawah ini merupakan persamaan Mark-Houwink (Yacob et al., 2013; Yigit et al., 2019).

$$[\eta] = KM^\alpha$$

Berat molekul polimer diukur dengan menggunakan viskometer dan berat molekul yang disebut viskositas rata-rata berat molekul yang diperoleh dengan teknik ini. Sifat mekanik polimer yang merupakan bahan anisotropik dapat dimodifikasi sesuai dengan petunjuk, karena berat molekul PHA adalah *livingpolymer* (Yigit et al., 2019). Berat molekul dan keseragaman rantai struktur akan ditentukan sesuai dengan $[\eta] = KM^\alpha$ $[\eta]$: viskositas intrinsik, M: berat molekul, K dan α adalah konstanta yang ditentukan secara empiris untuk sistem suhu pelarut polimer tertentu. Setelah nilai

viskositas intrinsik ditentukan dengan metode viskometer, berat molekul ditentukan. Penilaian viskositas intrinsik $[\eta]$ dievaluasi. Untuk tujuan ini, viskositas relatif (η_{rel}) dihitung dari rasio antara waktu aliran larutan polimer (t) dan waktu aliran pelarut murni (t_0). Viskositas spesifik (η_{sp}), $[\eta]$ dan viskositas reduksi (η_{red}) ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Scholte et al., 2021).

Viskositas relatif :

$$\eta_{rel} = \frac{t}{t_0} \quad 1$$

Viskositas spesifik :

$$\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1 \quad 2$$

Viskositas reduksi :

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c} \quad 3$$

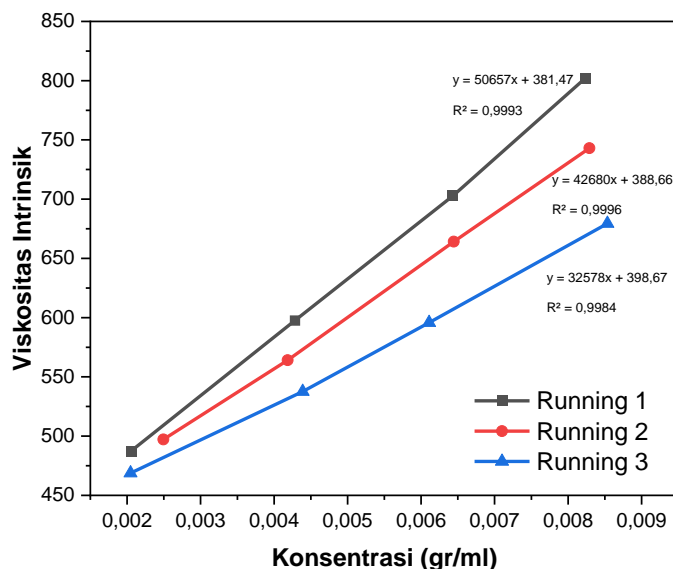
HASIL DAN PEMBAHASAN

Polimer adalah senyawa rantai panjang terdusun atas untaian senyawa-senyawa sederhana (monomer) dalam bentuk tertentu. Panjang rantai suatu molekul ditunjukkan dengan berat molekulnya. Berat molekul merupakan variabel yang istimewa penting sebab berhubungan langsung dengan sifat kimia polimer. Umumnya polimer dengan berat molekul tinggi mempunyai sifat yang lebih kuat. Polimer polimer dianggap memiliki berat molekul yang berkisar antara ribuan hingga jutaan dengan berat molekul optimum yang bergantung pada struktur kimia dan penerapannya. Nilai berat molekul yang diperoleh dapat dipengaruhi oleh banyak parameter produksi.

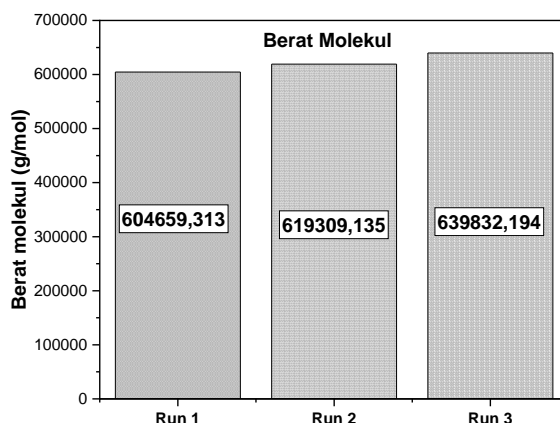
Teknik yang lebih umum digunakan untuk penetapan berat molekul polimer salah satunya adalah pengukuran viskositas. Viskositas merupakan ukuran yang menyatakan kekentalan suatu larutan polimer. Perbandingan antara viskositas larutan polimer terhadap viskositas pelarut murni dapat dipakai untuk menentukan massa molekul polimer. Metode ini lebih umum digunakan karena lebih cepat dan lebih mudah, alatnya sederhana, serta perhitungan hasilnya lebih sederhana. Pada pengukuran berat molekul dengan metode viskometer digunakan persamaan Mark-Houwink yang dirumuskan dengan $[\eta] = KM^\alpha$ yang mana $[\eta]$: viskositas intrinsik, M : berat molekul, K dan α adalah konstanta yang ditentukan secara empiris untuk sistem suhu pelarut polimer tertentu.

Pada penelitian ini, larutan standar masing-masing diukur viskositasnya pada kecepatan 30 rpm dengan pelarut Chloroform, kemudian dibuat kurva hubungan konsentrasi terhadap viskositasnya. Chloroform digunakan sebagai pelarut karena pelarut ini memiliki kemampuan untuk melarutkan PHA dengan cepat. Setelah itu ditentukan viskositas relatif dan viskositas spesifiknya dengan persamaan $\eta_{rel} = t/t_0$ dan $\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1$. Setelah itu ditentukan viskositas spesifiknya maka dapat ditentukan viskositas reduksinya dengan persamaan $\eta_{red} = \eta_{sp}/c$ yang dapat digunakan untuk menentukan viskositas intrinsik.

Gambar 1 merupakan grafik viskositas intrinsik, viskositas Intrinsik adalah rasio antara viskositas spesifik dengan konsentrasi zat terlarut yang diekstrapolasi sampai konsentrasi mendekati nol. Nilai viskositas intrinsik dapat dicari dengan menggunakan metode *Least Square* yang mana dari persamaan *least square* diperoleh suatu kurva garis lurus, sehingga didapat intersep dari garis lurus tersebut. Intersep dari garis lurus tersebut dinamakan dengan viskositas intrinsik (Habibah et al., 2013, 2019; Tarrahi et al., 2020; Ventura et al., 2022). Dalam penelitian ini, dilakukan 3 kali running dengan running pertama diperoleh nilai viskositas intrinsik sebesar 381.47, running kedua sebesar 388.66, dan running ketiga sebesar 398.67.



Gambar 1.Viskositas Intrinsik



Gambar 2 .Berat molekul

Polimer sintetik tidak terdiri dari rantai yang sama dengan atom atau molekul kristal dan di dalamnya tidak dapat disebutkan berat molekul konstan (Munir et al., 2015; Tan et al., 2014). Selain itu, nilai berat molekul yang diperoleh dapat dipengaruhi oleh banyak parameter produksi. Oleh karena itu, berat molekul rata-rata ditentukan dengan menggunakan Persamaan Mark-Houwink pada gambar 2. Dari hasil perhitungan, diperoleh berat molekul rata-rata PHA sebesar 621266.881 g/mol. Salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil yang diperoleh adalah sifat fisik yang dimiliki oleh PHA itu sendiri yaitu hidroskopis. Dimana PHA memiliki kemampuan untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik melalui absorpsi atau adsorpsi. Suatu zat disebut higroskopis jika zat itu mempunyai kemampuan menyerap molekul air yang baik. Perbandingan hasil dari metode perhitungan berat molekul menggunakan viskositas tidak jauh berbeda dengan metode metode lainnya dikarenakan berat molekul yang di miliki oleh polihidroksialkanoat berada dalam kisaran 50.000 sampai 1.000.000 Da.

KESIMPULAN

Metode Perhitungan berat molekul menggunakan viskometer dapat digunakan dalam menghitung berat dari polimer terutama terhadap polihidroksialkanoat (PHA). Berat molekul yang

diperoleh sebesar 621266.881 g/mol. konsentrasi yang digunakan saling berikatan dan mempengaruhi hasil berat molekul yang didapatkan, namun berat molekul yang didapatkan dapat dikatakan masih tergolong cukup baik. Sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat lebih divariasikan lagi untuk konsentrasi yang ada dan dapat mengamati pengaruh jenis pelarut lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Masuelli, M. (2018). Intrinsic Viscosity Determination of High Molecular Weight Biopolymers by Different Plot Methods. Chia Gum Case. *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry*, 6(1), 13–25. <https://doi.org/10.12691/jpbpc-6-1-2>
- Aznury, M., & Setiadi, T. (2021). Identifikasi Senyawa Asam Lemak Volatil dari Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Polihidroksialkanoat oleh *Ralstonia eutropha* JMP 134. *Jurnal Selulosa*, 11(01), 49. <https://doi.org/10.25269/jsel.v11i01.340>
- Bengtsson, S., Pisco, A. R., Johansson, P., Lemos, P. C., & Reis, M. A. M. (2010). Molecular weight and thermal properties of polyhydroxyalkanoates produced from fermented sugar molasses by open mixed cultures. *Journal of Biotechnology*, 147(3-4), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2010.03.022>
- Bilo, F., Pandini, S., Sartore, L., Depero, L. E., Gargiulo, G., Bonassi, A., Federici, S., & Bontempi, E. (2018). A sustainable bioplastic obtained from rice straw. *Journal of Cleaner Production*, 200, 357–368. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.252>
- Fadilah, S. N., Khamil, A. I., Muharja, M., Darmayanti, R. F., & Aswie, V. (2022). Enhancement of the Quality of Onion Drying Using Tray Dryer. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 5(2), 74–81. <https://doi.org/http://doi.org/10.25273/cheesa.v5i2.13968.74-81>
- Fadilah, S. N., Musyafa, R., Putri, L. N., Syahril, D., Khamil, A. I., & Muharja, M. (2023). Pengaruh Penambahan Chemical Agent Terhadap Angka Gula Reduksi Nira Perahan Pertama (NPP). *Rekayasa; Vol 16, No 1: April 2023 DO - 10.21107/rekayasa.v16i1.17200* . <https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa/article/view/17200>
- Fitriati, D., Nazarudin Ali, M., Arimbawa, I. M., Ahliana Rahmaniyah, F., Nurtsulutsiyah, N., Hidayatullah, H., Rosalina, A., Abdul Aziz Fajar, M., Dwinanda Nursoliha, T., Ainun Salsabila, Z., Susilowati, S., Isnain Khamil, A., Aliyya Isma, R., Lipuring Tyas, H., & Nashir Idham Kholid, M. (2021). Sosialisasi pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi biogas sebagai sumber energi alternatif di Desa Kemuning Lor, Jember. *Unri Conference Series: Community Engagement*, 3, 597–601. <https://doi.org/10.31258/unricsce.3.597-601>
- Frijns-Bruls, T., Ortin, A., Weusten, J., & Geladé, E. (2019). Studies on the use of filter-based IR detector for short-chain branching characterization of polyolefin copolymers with high temperature size exclusion chromatography. *Polymer*, 180, 121600. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121600>
- Ganesh Saratale, R., Cho, S.-K., Dattatraya Saratale, G., Kadam, A. A., Ghodake, G. S., Kumar, M., Naresh Bharagava, R., Kumar, G., Su Kim, D., Mulla, S. I., & Seung Shin, H. (2021). A comprehensive overview and recent advances on polyhydroxyalkanoates (PHA) production using various organic waste streams. *Bioresour Technol*, 325, 124685. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124685>
- Habibah, R., Nasution, D. Y., & Muis, Y. (2013). Penentuan Berat Molekul dan Derajat Polimerisasi A – Selulosa yang Berasal dari Alang-alang (*Imperata Cylindrica*) dengan Metode Viskositas. *Saintia Kimia*, 1(2).
- Habibah, R., Nasution, D. Y., & Muis, Y. (2019). Penentuan berat molekul dan derajat polimerisasi

- alpha-selulosa yang berasal dari alang-alang (*Imperata cylindrica*) dengan metode viskositas. *Jurnal Saintia Kimia*, 1(2), 1–6.
- Higuchi-Takeuchi, M., Morisaki, K., Toyooka, K., & Numata, K. (2016). Synthesis of high-molecular-weight polyhydroxyalkanoates by marine photosynthetic purple bacteria. *PLoS ONE*, 11(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160981>
- Huang, L., Chen, Z., Wen, Q., Ji, Y., Wu, Z., & Lee, D. J. (2020). Toward flexible regulation of polyhydroxyalkanoate composition based on substrate feeding strategy: Insights into microbial community and metabolic features. *Bioresource Technology*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122369>
- Izunobi, J. U., & Higginbotham, C. L. (2011). Polymer molecular weight analysis by ¹H NMR spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1098–1104. <https://doi.org/10.1021/ed100461v>
- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., & Singh, S. P. (2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255–277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mabi.200600168>
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Fachri, B. A., Palupi, B., Rahmawati, I., Rizkiana, M. F., Amini, H. W., Putri, D. K. Y., Setiawan, F. A., Asrofi, M., Widjaja, A., & Halim, A. (2023). Biobutanol production from cocoa pod husk through a sequential green method: Depectination, delignification, enzymatic hydrolysis, and extractive fermentation. *Bioresource Technology Reports*, 21, 101298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101298>
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Khamil, A. I., Prastika, A., Rizalluddin, M., Fadilah, S. N., & Sari, D. A. D. (2023). Evaluation Of Dehydration Performance Of Belitung Taro (*Xanthosoma Sagittifolium*) Using Tray Dryer. *IPTEK The Journal for Technology and Science; Vol 34, No 1 (2023): On Progress*. <https://iptek.its.ac.id/index.php/jts/article/view/14878>
- Muharja, M., Fadilah, S. N., Khamil, A. I., & Darmayanti, R. F. (2023). *Effect of Immersion Concentration in Salt Solution , Drying Time and Air Velocity on Drying Wet Noodles Using a Tray Dryer and Solar Assistance*. 7(1), 9–16.
- Muharja, M., Widjaja, A., Darmayanti, R. F., & Fadilah, N. (2022). *Subcritical Water Process for Reducing Sugar Production from Biomass : Optimization and Kinetics*. 17(4), 839–849. <https://doi.org/10.9767/bcrec.17.4.16527.839-849>
- Munir, S., Iqbal, S., & Jamil, N. (2015). Polyhydroxyalkanoates (PHA) Production using Paper Mill Wastewater as Carbon Source in Comparison with Glucose. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9.
- Onen Cinar, S., Chong, Z. K., Kucuker, M. A., Wiecek, N., Cengiz, U., & Kuchta, K. (2020). Bioplastic Production from Microalgae: A Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/ijerph17113842>
- Perez-Zabaleta, M., Atasoy, M., Khatami, K., Eriksson, E., & Cetecioglu, Z. (2021). Bio-based conversion of volatile fatty acids from waste streams to polyhydroxyalkanoates using mixed microbial cultures. *Bioresource Technology*, 323(December 2020), 124604. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124604>
- Reddy, V. U. N., Ramanaiah, S. V., Reddy, M. V., & Chang, Y. C. (2022). Review of the Developments of Bacterial Medium-Chain-Length Polyhydroxyalkanoates (mcl-PHAs). *Bioengineering*, 9(5), 1–24. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9050225>
- Scholte, T. G., Meijerink, N. L. J., Schoffeleers, H. M., & Brands, A. M. G. (2021). Mark–Houwink equation and GPC calibration for linear short-chain branched polyolefines, including polypropylene and ethylene–propylene copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 29(12), 3763–3782. <https://doi.org/10.1002/app.1984.070291211>

- Setiadi, T., Trianto, A., Aznury, M., & Pancoro, A. (2015). Production of polyhydroxyalkanoate (PHA) by *Ralstonia eutropha* JMP 134 with volatile fatty acids from palm oil mill effluent as precursors. *Water Science and Technology*, 72(11), 1889–1895. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.391>
- Sharma, V., Sehgal, R., & Gupta, R. (2021). Polyhydroxyalkanoate (PHA): Properties and Modifications. *Polymer*, 212, 123161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.123161>
- Tan, G. Y. A., Chen, C. L., Li, L., Ge, L., Wang, L., Razaad, I. M. N., Li, Y., Zhao, L., Mo, Y., & Wang, J. Y. (2014). Start a research on biopolymer polyhydroxyalkanoate (PHA): A review. *Polymers*, 6(3), 706–754. <https://doi.org/10.3390/polym6030706>
- Tarrah, R., Fathi, Z., Seydibeyoğlu, M. Ö., Doustkhah, E., & Khataee, A. (2020). Polyhydroxyalkanoates (PHA): From production to nanoarchitecture. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 596–619. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.181>
- Tsuge, T. (2016). Fundamental factors determining the molecular weight of polyhydroxyalkanoate during biosynthesis. *Polymer Journal*, 48(11), 1051–1057. <https://doi.org/10.1038/pj.2016.78>
- Ventura, M., Puyol, D., & Melero, J. A. (2022). The synergy of catalysis and biotechnology as a tool to modulate the composition of biopolymers (polyhydroxyalkanoates) with lignocellulosic wastes. *Catalysis Today*, 397-399, 220–231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cattod.2021.09.032>
- Yacob, N., Talip, N., & Mahmud, M. (2011). Determination of Viscosity-Average Molecular Weight of Chitosan using Intrinsic Viscosity Measurement. *NTC 2011: Nuclear Technical Convention 2011*. http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:44122710
- Yacob, N., Talip, N., Mahmud, M., Aizam Aisam Idayu Mat Sani, N., Akma Samsuddin, N., & Fabillah, N. A. (2013). Determination of viscosity-average molecular weight of chitosan using intrinsic viscosity measurement. *Journal of Nuclear and Related Technologies*, 10(1), 39–44.
- Yigit, Y., Kilislioglu, A., Karakus, S., & Baydogan, N. (2019). Determination of the intrinsic viscosity and molecular weight of Poly(methyl methacrylate) blends. *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, 2(2), 34–39.