



DEPOLIMERISASI PEKTIN KULIT DURIAN: KAJIAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI DAN PROFIL *NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE* (NMR)

INAS SUCI RAHMAWATI



PROGRAM STUDI ILMU PANGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Depolimerisasi Pektin Kulit Durian: Kajian Aktivitas Antibakteri dan Profil *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2024

Inas Suci Rahmawati
F261180148

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

INAS SUCI RAHMAWATI. Depolimerisasi Pektin Kulit Durian: Kajian Aktivitas Antibakteri dan Profil *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR). Dibimbing oleh HARSI DEWANTARI KUSUMANINGRUM, NANCY DEWI YULIANA, dan AZIS BOING SITANGGANG.

Konsumsi buah durian yang tinggi di negara-negara Asia Tenggara diikuti dengan peningkatan limbah berupa kulit durian. Kulit durian masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi komponen lain dengan nilai tambah tinggi. Salah satunya adalah pektin yang merupakan bahan tambahan pangan (BTP) yang umum digunakan di industri pangan. Selain dimanfaatkan sebagai pemodifikasi reologi, pektin juga dapat dikembangkan sebagai ingredien untuk pangan fungsional karena memiliki beberapa aktivitas biologis yang bermanfaat bagi tubuh manusia. Aktivitas antibakteri dari pektin telah dipelajari sebelumnya, namun pektin dengan berat molekul (BM) tinggi yang umum digunakan sebagai BTP tidak dapat menunjukkan aktivitas antibakteri yang baik. Depolimerisasi pektin menggunakan proses panas untuk menurunkan BM dilakukan di penelitian ini untuk meningkatkan aktivitas antibakteri pektin kulit durian. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dan mempelajari hubungan antara BM, struktur kimia, dan aktivitas penghambatan bakteri dari pektin asal limbah kulit durian yang diberi perlakuan sterilisasi uap basah pada 121 °C selama 15 menit. Penelitian ini terdiri dari dua tahapan, yaitu (1) penelitian meta-analisis untuk merangkum hasil penelitian yang telah dipublikasikan terkait aktivitas antibakteri polisakarida secara umum, dan (2) penelitian di laboratorium untuk mempelajari pengaruh depolimerisasi terhadap pektin kulit durian secara khusus.

Berat molekul (BM) polisakarida yang efektif sebagai antibakteri berdasarkan hasil tinjauan pustaka sangat bervariasi antar penelitian yang berbeda. Meta-analisis dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh metode depolimerisasi terhadap aktivitas antibakteri dari berbagai jenis polisakarida. Cakupan diperluas selain pektin karena penelitian yang dipublikasikan terkait khusus pektin masih sangat terbatas. Studi meta-analisis dilakukan sesuai pedoman yang tercantum pada *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Kata kunci yang digunakan untuk pencarian literatur mencakup istilah Bahasa Inggris yang terdiri dari “*polysaccharide*”, “*low molecular weight*”, “*water soluble*”, “*depolymerization*”, “*degradation*”, “*oligosaccharide*”, dan “*oligomer*”. Publikasi yang diikutsertakan hanya artikel penelitian dalam Bahasa Inggris yang diterbitkan dari tahun 2000 hingga 2021. Data dianalisis menggunakan aplikasi OpenMEE. Hasil pencarian literatur mengidentifikasi 118 studi yang relevan dengan 65.55% dari jumlah tersebut adalah penelitian menggunakan kitosan. Polisakarida lain yang berhasil ditemukan meliputi polisakarida sulfat asal alga ($n = 4$), alginat ($n = 6$), β -glukan ($n = 4$), pektin ($n = 4$), xantan ($n = 3$), gom ($n = 2$), xilan ($n = 2$), agar ($n = 1$), maltodekstrin ($n = 1$), dan campuran polisakarida tidak diidentifikasi dari berbagai sumber alam ($n = 7$). Hasil meta-analisis mengungkapkan bahwa ada kecenderungan untuk polisakarida anionik dan nonionik untuk menghambat bakteri lebih baik pada nilai BM yang lebih rendah (< 10 kDa) dibandingkan dengan kitosan (10 – 100 kDa). Namun,

analisis statistik untuk meta-analisis ini memiliki heterogenitas yang tinggi ($I^2 > 80\%$) yang membatasi interpretasi hasil. Heterogenitas ini tidak dapat ditentukan sumbernya setelah dilakukan berbagai analisis subgrup berdasarkan muatan polisakarida, metode depolimerisasi, berat molekul, dan jenis polisakarida. Karena heterogenitas tinggi juga ditemukan di dalam kelompok polisakarida yang sama, diduga ada struktur kimia lain yang berperan di dalam aktivitas antibakteri polisakarida selain BM.

Sterilisasi komersial uap basah ($121\text{ }^\circ\text{C}$ selama 15 menit) dipilih sebagai metode untuk mendepolimerisasi pektin kulit durian. Aktivitas antibakteri dievaluasi menggunakan metode mikrodilusi untuk memperoleh nilai konsentrasi hambat minimal (KHM) dan konsentrasi bakterisidal minimal (KBM) terhadap bakteri uji *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Perubahan struktur yang terjadi diamati menggunakan analisis *nuclear magnetic resonance* (NMR). Fraksinasi menggunakan filtrasi membran digunakan untuk memisahkan sampel pektin kulit durian steril berdasarkan berat molekulnya, yaitu Fraksi $< 20\text{ kDa}$, Fraksi $< 10\text{ kDa}$, Fraksi $< 5\text{ kDa}$, dan Fraksi $< 2\text{ kDa}$. Data profil kimia NMR dan aktivitas antibakteri dari masing-masing fraksi lalu digunakan untuk analisis statistik menggunakan *principal component analysis* (PCA) dan *orthogonal partial least square* (OPLS) untuk mengetahui korelasi di antara kedua variabel tersebut. Berdasarkan hasil analisis aktivitas antibakteri, Fraksi $< 20\text{ kDa}$ dan Fraksi $< 10\text{ kDa}$ merupakan fraksi pektin kulit durian dengan aktivitas terbaik di penelitian ini. *E. coli* memiliki kecenderungan lebih resisten terhadap paparan pektin dibandingkan dengan *S. aureus*. *E. coli* juga cenderung tidak mengalami peningkatan aktivitas antibakteri lebih lanjut melalui filtrasi $< 20\text{ kDa}$ berdasarkan nilai KHM. Hasil NMR memperlihatkan bahwa struktur pektin kulit durian terdiri dari homogalakturonan, rhamnogalakturonan-I, rantai samping berupa arabinan dan galaktan, serta pati sebagai kontaminan. Komponen non-polisakarida seperti komponen fenolik dan asam organik juga teridentifikasi berdasarkan analisis spektra NMR. Penurunan metil ester setelah sterilisasi mengindikasikan adanya reaksi demetilasi (pelepasan gugus ester metil) selama proses sterilisasi. Data geseran kimia $^1\text{H-NMR}$ sebagai variabel profil kimia dan nilai KBM sebagai variabel aktivitas antibakteri dipilih untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan OPLS. Hasil analisis OPLS memperlihatkan bahwa Fraksi $< 5\text{ kDa}$ memisah dari fraksi pektin kulit durian steril lainnya dan diduga disebabkan oleh perbedaan profil kimia, terutama terkait dengan komponen non-polisakarida. Analisis *S-plot* menunjukkan bahwa asam galakturonat (dalam bentuk pektin dan bebas) menjadi biomarker penting untuk aktivitas antibakteri dari fraksi pektin kulit durian. Hal ini menguatkan hipotesis bahwa gugus karboksil bebas menjadi faktor yang menentukan aktivitas antibakteri dari pektin. Penurunan nilai derajat esterifikasi (DE) meningkatkan aktivitas antibakteri bersama dengan penurunan BM. Oleh karena itu, sterilisasi komersial dapat menjadi alternatif metode depolimerisasi pektin yang dapat sekaligus menurunkan jumlah gugus karboksil yang terikat gugus metil.

Kata kunci: aktivitas antibakteri, depolimerisasi, limbah kulit durian, *nuclear magnetic resonance* (NMR), pektin





SUMMARY

INAS SUCI RAHMAWATI. Depolymerization of Durian Rind Pectin: Investigation of Antibacterial Activity and Chemical Profile by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Analysis. Supervised by HARSI DEWANTARI KUSUMANINGRUM, NANCY DEWI YULIANA, and AZIS BOING SITANGGANG.

High consumption of durian fruit in Southeast Asian countries is accompanied by an increase of durian rind waste. Durian rind can still be used as raw material for the production of other components with high added value. One of them is pectin, which is a food additive commonly used in the food industry. Apart from being used as a rheology modifier, pectin can also be developed as an ingredient for functional foods because it has several biological activities that are beneficial for the human body. The antibacterial activity of pectin has been studied previously, but high molecular weight (MW) pectin which is commonly used as a food additive generally cannot exhibit good antibacterial activity. Depolymerization of pectin by heat treatment to reduce MW was carried out in this study to increase the antibacterial activity of durian rind pectin. This research aimed to compare and evaluate the relationship between MW, chemical structure, and bacterial inhibitory activity of pectin from durian rind waste that was treated with commercial sterilization at 121 °C for 15 minutes. This research consisted of two main stages, namely (1) meta-analysis study to summarize what was currently known about antibacterial activity of polysaccharides in general, and (2) laboratory research to investigate the effect of depolymerization on durian rind pectin specifically.

The effective MW of polysaccharides as an antibacterial agent varied greatly between different studies according to the results of preliminary literature review. Meta-analysis was carried out to evaluate the effect of depolymerization methods on the antibacterial activity of various types of polysaccharides. The scope was expanded beyond pectin because published research specifically related to pectin was still very limited. The meta-analysis study was done based on the guidelines in the *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Keywords used for literature search included English terms consisting of "polysaccharide", "low molecular weight", "water soluble", "depolymerization", "degradation", "oligosaccharide", and "oligomer". The publications included in this analysis were only research articles in English published from 2000 to 2021. Data were analyzed using the OpenMEE application. The results of the literature search identified 118 relevant studies, of which 65.55% were studies using chitosan. Other antibacterial polysaccharides that were discovered included sulfated polysaccharides from algae ($n = 4$), alginate ($n = 6$), β -glucan ($n = 4$), pectin ($n = 4$), xanthan ($n = 3$), gum ($n = 2$), xylan ($n = 2$), agar ($n = 1$), maltodextrin ($n = 1$), and a mixture of miscellaneous polysaccharides from various natural sources ($n = 7$). The meta-analysis results revealed that there was a tendency for anionic and nonionic polysaccharides to inhibit bacteria greater at lower MW range (< 10 kDa) compared to chitosan (10 – 100 kDa). However, the statistical analysis for this meta-analysis had high unexplained heterogeneity ($I^2 > 80\%$) which limited the interpretation of the

results. The source of this heterogeneity could not be determined even after various subgroup analyzes were conducted based on charge, depolymerization method, MW range, and type of polysaccharide. Because high heterogeneity was also found in the same group of polysaccharides, it was suspected that there were other chemical structures that played a role in the observed antibacterial activity of polysaccharides besides MW.

Commercial moist-heat sterilization (121 °C for 15 minutes) was chosen as the method to depolymerize durian rind pectin in this research. The antibacterial activity was evaluated using the microdilution method to obtain minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) values against the test bacteria *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The changes of structure were observed using nuclear magnetic resonance (NMR) analysis. Fractionation using membrane filtration was used to separate sterile durian rind pectin samples based on their MW, namely Fraction < 20 kDa, Fraction < 10 kDa, Fraction < 5 kDa, and Fraction < 2 kDa. NMR chemical profile data and antibacterial activity from each fraction were then used for analysis using *principal component analysis* (PCA) and *orthogonal partial least squares* (OPLS) to determine the correlation between the two variables. Based on the results of antibacterial analysis, Fraction < 20 kDa and Fraction < 10 kDa was the best fractions to inhibit bacterial growth compared to Fraction < 5 kDa and Fraction < 2 kDa. *E. coli* was more resistant to pectin exposure compared to *S. aureus*. The inhibition of *E. coli* also did not get enhanced by further filtration < 20 kDa based on the MIC value, signifying it higher resistance to low MW pectin. NMR results showed that the structure of durian rind pectin consisted of homogalacturonan, rhamnogalacturonan-I, side chains of arabinan and galactan, and starch as a contaminant. Non-polysaccharide components such as phenolic compounds and organic acids were also identified based on NMR spectra analysis. The decrease in methyl ester after sterilization indicated that demethylation reaction (release of methyl ester) occurred during the sterilization process. Chemical shift from the ¹H-NMR spectra analysis as chemical profile variable and the MBC value as antibacterial activity variable was used for further analysis using OPLS. The results of OPLS analysis showed that the Fraction < 5 kDa was separated from the other sterile durian rind pectin fractions and the reason was deduced to be caused by differences in chemical profiles, especially related to non-polysaccharide components. S-plot analysis showed that galacturonic acid (in the form of pectin and free monomer) was an important biomarker for the antibacterial activity of the durian rind pectin. This strengthened the hypothesis that the free carboxyl group was an important factor that determines the antibacterial activity of pectin. Decreasing the value of the degree of esterification (DE) increased the antibacterial activity along with decreasing the MW. Therefore, commercial sterilization can be an alternative method for pectin depolymerization which can simultaneously reduce the number of carboxyl groups attached to methyl groups while cleaving its large backbone chain.

Keywords: antibacterial activity, depolymerization, durian rind waste, nuclear magnetic resonance (NMR), pectin





Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024 Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



DEPOLIMERISASI PEKTIN KULIT DURIAN: KAJIAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI DAN PROFIL *NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE* (NMR)

INAS SUCI RAHMAWATI

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Pangan

**PROGRAM STUDI ILMU PANGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Winiati Pudji Rahayu, M.S.
- 2 Prof. Dr. Nugraha Edhi Suyatma, S.T.P., D.E.A.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Winiati Pudji Rahayu, M.S.
- 2 Dr. R. Haryo Bimo Setiarto, S. Si., M. Si.



Judul Disertasi : Depolimerisasi Pektin Kulit Durian: Kajian Aktivitas
Antibakteri dan Profil *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR)

Nama : Inas Suci Rahmawati
NIM : F261180148

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Harsi Dewantari
Kusumaningrum



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc.



Pembimbing 3:
Prof. Dr. -ing. Azis Boing Sitanggang,
S.T.P., M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Harsi Dewantari Kusumaningrum
NIP 196405021993032004



Dekan Fakultas Teknologi Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M. Agr.
NIP 196105021986031002



Tanggal Ujian:
14 Desember 2023

Tanggal Pengesahan:
29 Januari 2024



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Mei 2020 sampai bulan Agustus 2023 ini ialah pemanfaatan kulit durian sebagai bahan baku pektin bioaktif, dengan judul “Depolimerisasi Pektin Kulit Durian: Kajian Aktivitas Antibakteri dan Profil *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR)”. Penelitian S3 ini merupakan rangkaian dari penelitian S2 dengan topik serupa di bawah pendanaan Kementerian Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi dalam skema Pendidikan Magister menuji Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) *batch* 3 tahun 2017.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Harsi Dewantari Kusumaningrum, Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc., dan Prof. Dr. –ing Azis Boing Sitanggung., S.T.P., M.Sc. yang telah membimbing, memberi motivasi, dan banyak memberi saran sehingga penelitian ini akhirnya berhasil diselesaikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar (Dr. Drs. Bambang Dwi Dasanto, M.Si.), penguji luar komisi pembimbing sidang tertutup (Prof. Dr. Ir. Winiati Pudji Rahayu, M. S. dan Prof. Dr. Nugraha Edhi Suyatma, S.T.P., D.E.A.), penguji luar komisi pembimbing sidang terbuka (Prof. Dr. Ir. Winiati Pudji Rahayu, M. S. dan Dr. R. Haryo Bimo Setiarto, S.Si., M.Si.), dan perwakilan Fakultas Teknologi Pertanian (Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M. Agr.) serta perwakilan Program Studi Ilmu Pangan (Dr. Endang Prangdimurti, S.T.P., M.Si.) untuk masukan dan kritik selama seminar dan ujian sidang saya. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Departmen Ilmu dan Teknologi Pangan IPB, SEAFast IPB, *Integrated Laboratory and Research Center* Universitas Indonesia, dan Herbarium Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati ITB atas bantuan lembaga-lembaga tersebut dalam izin pelaksanaan penelitian dan bantuan dalam identifikasi tumbuhan durian, analisis antibakteri dan NMR, terutama untuk staf-staf laboratorium Mba Ariyanti, Pak Yahya, Mba Riska, dan Almh. Pak Taufik yang telah membantu selama pengumpulan data kimia dan antibakteri. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah Ahmad Budiaman, ibu Heni Purnamawati, serta adik Anisah Dyah Rahmawati yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Terima kasih juga untuk semua teman-teman di laboratorium Mikrobiologi Pangan ITP yang tidak dapat disebutkan satu-satu atas segala bantuan dan motivasi selama penelitian ini dilaksanakan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Januari 2024

Inas Suci Rahmawati

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Hipotesis	5
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Struktur pektin, aplikasi di industri pangan, dan potensi pektin sebagai antibakteri	7
2.2 Potensi limbah kulit durian sebagai bahan baku untuk produksi pektin	11
2.3 Perlakuan depolimerisasi menggunakan proses sterilisasi uap basah komersial (121 °C selama 15 menit) untuk meningkatkan aktivitas antibakteri pektin kulit durian	12
2.4 Fraksinasi produk depolimerisasi pektin dan analisis <i>nuclear magnetic resonance</i> (NMR) untuk identifikasi dan karakterisasi struktur polisakarida	15
III TINJAUAN PUSTAKA SISTEMATIS DAN META-ANALISIS AKTIVITAS ANTIBAKTERI <i>IN VITRO</i> DARI POLISAKARIDA TERDEPOLIMERISASI	18
3.1 Latar Belakang	18
3.2 Metode	20
3.3 Hasil dan Pembahasan	23
3.4 Simpulan	39
IV PROFIL SIDIK JARI NMR DAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI DARI PEKTIN KULIT DURIAN TERDEPOLIMERISASI	41
4.1 Latar Belakang	41
4.2 Bahan dan Metode	43
4.3 Hasil dan Pembahasan	45
4.4 Simpulan	53
V IDENTIFIKASI GUGUS KARBOKSIL SEBAGAI BIOMARKER PENTING AKTIVITAS ANTIBAKTERI DARI PEKTIN KULIT DURIAN	55
5.1 Latar Belakang	55
5.2 Bahan dan Metode	57
5.3 Hasil dan Pembahasan	58
5.4 Simpulan	64
VI PEMBAHASAN UMUM	65



VII SIMPULAN DAN SARAN	72
7.1 Simpulan	72
7.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	88
RIWAYAT HIDUP	105

Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	Aktivitas antimikroba pektin dan produk turunan pektin	9
2	Uji regresi Egger's untuk ketidaksimetrisan <i>funnel plot</i> (<i>p-value</i>) dan uji heterogenitas statistik Higgin's (I^2)	37
3	Heterogenitas antar-studi dari kelompok polisakarida yang sama	38
4	Rendemen dari pektin kulit durian dengan perlakuan sterilisasi	46
5	Aktivitas antibakteri pektin kulit durian	47
6	Geseran kimia (δ) dan identifikasi residu glikosil berdasarkan hasil analisis spektra NMR pektin kulit durian	52
7	Identifikasi biomarker hubungan profil kimia dan aktivitas antibakteri pektin kulit durian	63
8	Perbandingan metode depolimerisasi polisakarida	69

DAFTAR GAMBAR

9	Skema struktur dasar penyusun pektin (Voragen <i>et al.</i> 2009)	8
10	Diagram alur pencarian literatur untuk meta-analisis	21
11	Analisis subgrup pengaruh polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>E. coli</i> (data ZoI)	28
12	Analisis subgrup pengaruh polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>E. coli</i> (data %inhibition)	29
13	Pengaruh BM dari polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>E. coli</i> (data ZoI)	30
14	Pengaruh BM dari polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>E. coli</i> (data %inhibition)	31
15	Analisis subgrup pengaruh polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>S. aureus</i> (data ZoI)	33
16	Analisis subgrup pengaruh polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>S. aureus</i> (data %inhibition)	34
17	Pengaruh BM dari polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>S. aureus</i> (data ZoI)	35
18	Pengaruh BM dari polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>S. aureus</i> (data %inhibition)	36
19	Spektra proton (^1H NMR) pektin kulit durian	49
20	Spektra karbon (^{13}C NMR) pektin kulit durian	50
21	Spektra ^1H - ^{13}C HSQC dari pektin kulit durian	51
22	<i>Score plot</i> PCA dari fraksi pektin kulit durian	58
23	<i>Loading plot</i> fraksi pektin kulit durian	59
24	<i>Score plot</i> analisis OPLS menggunakan data profil kimia dan aktivitas penghambatan <i>E.coli</i> dan <i>S. aureus</i>	61
25	<i>S-plot</i> analisis OPLS analisis OPLS menggunakan data profil kimia dan aktivitas penghambatan <i>E.coli</i> dan <i>S. aureus</i>	62



DAFTAR LAMPIRAN

26	Lampiran 1 Data studi yang relevan untuk analisis arah perlakuan proses depolimerisasi terhadap aktivitas antibakteri	88
27	Lampiran 2 Analisis perhitungan suara berdasarkan kecenderungan arah efek perlakuan depolimerisasi terhadap aktivitas antibakteri polisakarida	95
28	Lampiran 3 Funnel plot untuk analisis subgrup pengaruh polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>E. coli</i>	101
29	Lampiran 4 <i>Funnel plot</i> analisis subgrup pengaruh BM terhadap aktivitas penghambatan <i>E. coli</i>	101
30	Lampiran 5 <i>Funnel plot</i> untuk analisis subgrup pengaruh polisakarida terdepolimerisasi terhadap aktivitas penghambatan <i>S. aureus</i>	102
31	Lampiran 6 <i>Funnel plot</i> analisis subgrup pengaruh BM terhadap aktivitas penghambatan <i>S. aureus</i>	102
32	Lampiran 7 Surat determinasi tumbuhan durian	103
33	Lampiran 8 Uji permutasi (100 permutasi) untuk model OPLS korelasi profil kimia dan aktivitas antibakteri pektin kulit durian	104

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.