

Vol. 9, No. 1, April 2020

ISSN: 2085-9872

JURNAL SAINS DASAR

PENERBIT

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

KARAKTERISASI FENOTIPIK DAN AKTIVITAS ANTIMIKROBIA BAKTERI ASAM LAKTAT DARI LIMBAH PRODUKSI TEMPE

PHENOTYPIC CHARACTERIZATION AND ANTIMICROBIA ACTIVITY OF LACTIC ACID BACTERIA FROM TEMPE PRODUCTION WASTE

Erlin Amelia Santosa¹, Endah Retnaningrum^{2,*}

¹Mahasiswa Program Sarjana, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 55281

*email korespondensi: endahr@ugm.ac.id

Abstrak

Selama proses pembuatan tempe, dihasilkan limbah cair berupa air rendaman kedelai yang mengandung berbagai jenis Bakteri Asam Laktat (BAL). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter fenotipik dan aktivitas antimikrobia BAL dari limbah produksi tempe. Isolat BAL yang terdapat pada limbah produksi tempe dikarakterisasi secara morfologis, biokimiawi dan fisiologis untuk selanjutnya dianalisis dengan metode *profile matching* yang mengacu pada *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Pengujian aktivitas antimikrobia dilakukan dengan metode *spot on the lawn* dan dianalisis secara statistik dengan menggunakan metode One Way Anova (taraf kepercayaan 95%). Diperoleh empat isolat BAL, dimana strain ES1B dan ES1G teridentifikasi sebagai *Lactobacillus fermentum*, sedangkan strain ES1F dan ES2D teridentifikasi sebagai *Lactobacillus plantarum*. Seluruh isolat BAL menunjukkan aktivitas antimikrobia terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* dengan daya hambat rendah, kecuali strain ES2B dan ES1G yang menunjukkan daya hambat sedang terhadap *Escherichia coli* (zona hambat sebesar $16,33 \pm 1,53$ mm dan $17,0 \pm 1,0$ mm).

Kata kunci: Antimikrobia, karakterisasi, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus plantarum*, limbah produksi tempe

Abstract

In the process of making tempe produced a liquid waste which contains various types of Lactic Acid Bacteria (LAB). This study aims to determine the phenotypic characters and antimicrobial activity of LAB from tempe production waste. LAB isolates were characterized morphologically, biochemically and physiologically for further analysis using the profile matching method which refers to *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Antimicrobial activity testing was carried out using the spot on the lawn method and statistically analyzed using the One Way Anova method (95% confidence level). There were four LAB isolates, which ES1B and ES1G strain were identified as *Lactobacillus fermentum*, whereas ES1F and ES2D were identified as *Lactobacillus plantarum*. All LAB isolates had antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* with low inhibition, except ES2B and ES1G which showed moderate inhibition against *Escherichia coli* (zone of inhibition of 16.33 ± 1.53 mm and 17.0 ± 1.0 mm).

Keywords: Antimicrobial, characterization, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus plantarum*, tempe production waste

Pendahuluan

Fermentasi merupakan salah satu teknik yang umum digunakan untuk mengolah berbagai sumber pangan. Tidak hanya berguna untuk meningkatkan kualitas nutrisi dan cita rasa dari produk makanan, proses fermentasi berguna dalam menjaga kualitas dan ketahanan produk makanan terhadap kontaminasi mikrobial perusak [1]. Prinsip fermentasi adalah penyederhanaan senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh enzim yang dihasilkan mikrobial. Kelompok mikrobial yang umum terlibat dalam fermentasi adalah bakteri, yeast dan jamur [2]. Tempe merupakan salah satu makanan yang melibatkan fermentasi dalam proses pembuatannya. Tidak hanya dilangsungkan oleh jamur (*Rhizopus sp.*),

proses fermentasi pada tempe juga melibatkan peran Bakteri Asam Laktat (BAL).

Terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam kegiatan produksi tempe. Tahapan dapat dibagi menjadi tahapan penyesuaian lingkungan sebelum proses fermentasi oleh kapang dan tahapan menuju fermentasi oleh kapang. Tahapan pembuatan tempe diawali dengan pencucian dan perebusan kedelai yang bertujuan agar diperoleh kedelai bersih yang telah terhidrasi untuk selanjutnya memudahkan proses pengupasan kulit kedelai. Pengupasan kulit bertujuan untuk memudahkan miselium kapang untuk menembus ke dalam jaringan pada kedelai. Dilakukan pula tahap pencucian kedua dan perendaman dalam air pada suhu kamar selama 22-24 jam. Perendaman

ini bertujuan agar Bakteri Asam Laktat (BAL) dapat tumbuh secara alami sehingga diperoleh kondisi asam yang sesuai dengan kondisi pertumbuhan jamur tempe. Kelompok BAL sendiri akan memproduksi asam dari jalur fermentasi asam laktat. Dilakukan kembali proses proses perebusan dan penirisan. Tahapan kemudian ditutup dengan peragian dan pembungkusan kedelai setelah kedelai dingin agar proses fermentasi oleh kapang selanjutnya dapat berlangsung [3].

Dalam proses pembuatan tempe, diproduksi limbah cair berupa air rendaman kedelai yang dihasilkan pada tahap perendaman. Limbah cair berupa air rendaman kedelai ini mengandung beragam jenisnya BAL. Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan kelompok bakteri yang mampu melakukan proses fermentasi karbohidrat menjadi asam laktat. Kelompok mikrobia ini telah digunakan sebagai kultur starter dalam fermentasi makanan karena dinilai mampu meningkatkan kualitas, lama masa simpan, keamanan, kandungan nutrisi serta rasa secara keseluruhan dari produk makanan tersebut [4]. Selain asam laktat, terdapat beberapa produk sampingan yang dapat dihasilkan oleh kelompok BAL seperti asetat, ethanol, CO₂, format dan suksinat [5].

Salah satu produk yang mampu dihasilkan oleh kelompok BAL ialah senyawa-senyawa yang memiliki potensi sebagai agen antimikrobia. Beberapa senyawa antimikrobia yang dihasilkan oleh BAL meliputi asam laktat, asam asetat, alkohol, aldehid dan bakteriosin. Terdapat dua kelompok utama dari antimikrobia yang diproduksi oleh BAL yang terdiri dari substansi dengan massa molekular rendah (<1000 Da) dan substansi dengan massa molekular tinggi (>1000 Da) [6]. Senyawa antimikrobia dari BAL yang umum dikenal adalah asam organik. Asam organik memiliki efek penghambatan dengan mekanisme pembentukan molekul yang tidak terikat sehingga molekul tersebut selanjutnya mampu berdifusi melalui membran sel ke sitosol yang bersifat lebih basa untuk mengganggu fungsi metabolik yang penting pada sel mikrobia patogen [7].

Sebagian besar spesies BAL heterofermentatif diketahui mampu memproduksi flavoprotein oksidase yang dapat mengkatalis reduksi oksigen dan menyebabkan akumulasi hidrogen peroksida. Aktivitas antimikrobia dari hidrogen peroksida mampu melangsungkan proses oksidasi yang cukup kuat sehingga mampu merusak struktur molekul dasar protein sel mikrobia patogen [8]. Sebagian besar kelompok BAL heterofermentatif diketahui mampu menghasilkan asetaldehid aktif yang dapat berperan dalam mengatur pertumbuhan kontaminan

bersamaan dengan metabolit antimikrobia apabila konsentrasinya lebih rendah dari yang dibutuhkan untuk menghambat mikrobia tak diinginkan [9].

Disamping senyawa-senyawa kimia yang memiliki potensi sebagai antimikrobia, CO₂ pun menjadi salah satu produk akhir yang mampu dihasilkan oleh kelompok BAL. CO₂ berpotensi menjadi salah satu agen antimikrobia karena selain memiliki aktivitas antimikrobia, CO₂ dapat membuat lingkungan anaerob dengan mengganti oksigen molekular yang ada. Aktivitas antifungal dari CO₂ yang dipengaruhi pengambatan dekarboksilasi enzimatis dan akumulasinya dalam membran lipid ganda mampu menyebabkan disfungsi permeabilitas sel mikrobia patogen [10]. Beberapa kelompok BAL diketahui mampu menghambat pertumbuhan dari beberapa bakteri patogen seperti *Aeromonas hydrophyla*, *Clostridium botulinum*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* [11].

Bakteriosin menjadi salah satu produk yang dihasilkan oleh kelompok BAL dan memiliki potensi antimikrobia. Bakteriosin merupakan substansi protein antibakteri dengan aktivitas bakterisidal yang melawan spesies yang berkerabat (*narrow spectrum*) atau antar genera (*broad spectrum*). Bakteriosin yang diproduksi BAL merupakan peptida antimikrobia kecil atau protein dengan spektrum penghambatan yang luas. Spektrum antibakteri yang dimiliki oleh BAL mencakup organisme pembusuk dan patogen bawaan makanan seperti *Listeria monocytogenes* dan *Staphylococcus aureus* [12]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jenis BAL berdasarkan karakteristik fenotipik (morfologis, biokimia dan fisiologis) yang terdapat pada limbah produksi tempe serta untuk mengetahui aktivitas antimikrobia yang dihasilkan oleh kelompok BAL tersebut dalam menghambat aktivitas dan pertumbuhan dari beberapa bakteri patogen uji (*Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*).

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode profil matching yang mengacu pada *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* untuk melakukan karakterisasi fenotipik pada tiap isolat yang diperoleh. Pengujian aktivitas antimikrobia pada tiap isolat selanjutnya dilakukan dengan metode spot on the lawn. Hasil pengujian aktivitas antimikrobia dianalisis secara statistik menggunakan SPSS dengan metode *One Way Anova* (taraf kepercayaan 95%). Pengambilan sampel penelitian ini dilakukan di salah satu rumah

produksi tempe yang terletak di Gantiwarno, Klaten, Jawa Tengah. Berbagai uji dan pengamatan untuk melihat karakterisasi fenotipik dan aktivitas antimikrobia BAL dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penelitian berlangsung pada bulan Januari 2020-Agustus 2020.

Tahapan penelitian diawali dengan isolasi dan purifikasi BAL yang terdapat pada limbah produksi tempe. Sebanyak 1 mL sampel dimasukkan ke dalam larutan pengencer *Alkaline Peptone Water* dan dilakukan seri pengenceran hingga pada tingkat 10⁻⁵, 10⁻⁶, dan 10⁻⁷. Sebanyak 0,1 mL sampel diinokulasikan pada *medium de Man Ragosa and Sharpe Agar* (MRSA) yang telah disuplementasi CaCO₃ 1% dengan metode *pour plate*. Koloni BAL dapat dikenali dengan adanya zona jernih yang terbentuk di sekelilingnya. Koloni BAL dengan karakter tipe, ukuran, dan bentuk yang berbeda kemudian dimurnikan pada medium MRSA yang telah disuplementasi CaCO₃ 1% dengan metode *streak plate* untuk memperoleh koloni murni. Koloni murni selanjutnya disubkultur pada medium MRSA miring sebagai stok kultur.

Karakterisasi morfologis makroskopis BAL dilakukan dengan mengamati kenampakan dan karakter koloni meliputi bentuk, elevasi, tepi, dan struktur dalam koloni. Karakterisasi morfologi mikroskopis BAL dilakukan dengan pewarnaan gram. Ulasan BAL pada gelas benda ditetesi dengan sebanyak 2-3 tetes gram A (kristal violet), gram B (larutan lugol), gram C (larutan alkohol-aseton) dan gram D (safranin) dengan setiap proses penetasan didiamkan selama 5 menit, 1 menit, 1 menit dan 1 menit. Preparat diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran kuat (100x) untuk diketahui bentuk dan jenis gram dari tiap isolat BAL. Untuk melihat kemampuan tiap isolat BAL dalam memproduksi spora dengan pewarnaan endospora. Ulasan BAL pada gelas benda ditetesi dengan sebanyak 2-3 tetes pewarna *malachite green* dan *safranin* dengan masing-masing proses penetasan didiamkan selama 5 menit dan 1 menit. Preparat dapat diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran kuat (100x) untuk dapat diketahui bentuk, warna dan letak spora (bila ada).

Karakterisasi biokimiawi berupa uji produksi indol dan produksi H₂S dilakukan dengan menginokulasi tiap isolat BAL secara tusukan pada medium *Sulfide Indole Motility* (SIM) untuk ditetesi *reagen Ehrlich*. Hasil positif uji ini ditandai dengan perubahan warna pada lapisan permukaan atas medium menjadi merah untuk uji produksi indol dan adanya endapan berwarna hitam pada medium untuk uji produksi H₂S. Karakterisasi

biokimiawi berupa uji fermentasi karbohidrat dilakukan dengan menginokulasi tiap isolat BAL pada medium Nutrien Broth (NB) yang telah ditambahkan 5 g/L sumber karbon (glukosa, laktosa, sukrosa, galaktosa, manitol, maltosa, , dan xylosa) serta diberi indikator *phenol red* dalam tabung reaksi yang berisi tabung durham. Hasil positif uji ini ditandai dengan terjadinya perubahan warna medium menjadi kuning (homofermentatif) dan terbentuknya gelembung udara pada tabung durham (heterofermentatif).

Karakterisasi fisiologis berupa pengamatan motilitas bakteri dilakukan dengan menginokulasi tiap isolat BAL secara tusukan pada medium SIM untuk dapat diketahui motilitasnya. Bakteri dikatakan motil, jika pertumbuhan bakteri pada medium menyebar dan keluar area tusukan, sementara dikatakan non-motil jika pertumbuhan bakteri pada medium hanya terjadi pada daerah tusukan. Karakterisasi fisiologis berupa uji katalase dilakukan dengan meneteskan 1-2 tetes H₂O₂ di atas koloni bakteri yang telah diratakan pada gelas benda. Hasil positif uji ini ditandai dengan terbentuknya gelembung pada area koloni bakteri. Untuk melihat pengaruh variasi suhu terhadap pertumbuhan bakteri, isolat BAL diinokulasi pada medium MRSB dan diinkubasi setiap suhu 10°C, 25°C, 37°C, 45°C, dan 55°C. Untuk melihat pengaruh variasi pH terhadap pertumbuhan bakteri, isolat BAL diinokulasi pada *medium de Man Ragosa and Sharpe Broth* (MRSB) dengan pH 4, 6, 8, dan 9,6. Untuk melihat pengaruh variasi kadar garam terhadap pertumbuhan bakteri, isolat BAL diinokulasi pada medium MRSB dengan kadar NaCl sebanyak 4%, 6,5%, 10%, dan 15%. Pertumbuhan bakteri pada medium MRSB ditandai dengan peningkatan kekeruhan pada medium. Seluruh karakter fenotipik yang diperoleh digunakan untuk melakukan karakterisasi fenotipik terhadap tiap isolat BAL dengan metode *profil matching* yang mengacu pada *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*.

Uji aktivitas antimikrobia sel pada isolat BAL dilakukan menggunakan metode *spot on the lawn* [13]. Isolat BAL diinokulasikan pada medium MRSB selanjutnya 25 µL isolat BAL ditetaskan pada tiap sumuran medium Nutrien Agar (NA). Terdapat maksimum 4 titik spot pengujian (sumuran) dalam satu petri (jarak per titik 3 cm). Medium NA yang digunakan kali ini tersusun dari NB dan agar sebanyak 2% dengan di dalamnya terdapat sebanyak 100 µL bakteri patogen uji (*Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*) yang diinokulasikan secara *pour plate*. Pada penelitian ini digunakan kontrol positif berupa antibiotik

kloramfenikol. Adanya aktivitas penghambatan antibakteri pada BAL ditandai dengan terbentuknya zona jernih/halo di sekitar sumuran. Terdapat beragam tingkat dari derajat penghambatan berdasarkan zona halo yang terbentuk, dimana tergolong ke dalam tingkat rendah jika zona halo berukuran $5 \text{ mm} < \emptyset < 15 \text{ mm}$; sedang $15 \text{ mm} \leq \emptyset < 25 \text{ mm}$; kuat $25 \text{ mm} \leq \emptyset < 35 \text{ mm}$ atau sangat kuat $35 \text{ mm} \leq \emptyset < 45 \text{ mm}$ [13]. Hasil pengujian aktivitas antimikrobia dianalisis menggunakan metode *One Way Anova* (taraf kepercayaan 95%).

Hasil dan Diskusi

Isolasi Bakteri Asam Laktat (BAL)

Limbah produksi tempe yang digunakan telah difermentasi pada durasi yang bervariasi, yakni selama satu malam, dua malam, dan tiga malam. Sampel ini diisolasi pada medium untuk mengetahui koloni BAL yang terdapat didalamnya.



Gambar 1. Zona jernih (halo) yang terbentuk disekeliling koloni Bakteri Asam Laktat (BAL)

Koloni BAL yang tumbuh pada medium dapat dikenali dengan adanya zona jernih. Terbentuknya zona jernih dikarenakan produksi asam organik oleh BAL yang dapat melarutkan CaCO_3 pada medium (Gambar 1). Diperoleh total isolat BAL 22 isolat setiap 10 isolat dari limbah produksi tempe dengan masa fermentasi 1 malam, 8 isolat dari limbah produksi tempe dengan masa fermentasi 2 malam, dan 4 isolat dari limbah produksi tempe dengan masa fermentasi 3 malam. Durasi fermentasi dan jumlah isolat berbanding terbalik. Hal ini terjadi karena akumulasi produk akhir berupa asam oleh BAL membuat kondisi lingkungan menjadi semakin kurang menguntungkan bagi BAL. Diperoleh 4 isolat murni, yakni dari koloni B pada durasi fermentasi malam ke-1 (ES1B), koloni F pada durasi fermentasi malam ke-1 (ES1F), koloni G pada durasi fermentasi malam ke-1 (ES1G), dan koloni D pada durasi fermentasi malam ke-1 (ES2D).

Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri Asam Laktat

Karakterisasi morfologis bakteri diperlukan di dalam penelitian ini untuk dapat mengidentifikasi jenis BAL berdasarkan dengan karakter bentuk koloni maupun sel yang dimilikinya. Karakterisasi morfologis BAL yang dilakukan meliputi pengamatan morfologi makroskopis (koloni) dan morfologi mikroskopis (morfologi sel dan endospora). Karakterisasi morfologi makroskopis dilakukan dengan mengamati secara langsung kenampakan dari setiap koloni BAL yang terbentuk pada medium tumbuh. Karakterisasi morfologis mikroskopis dilakukan dengan mengamati kenampakan sel dari setiap isolat BAL di bawah mikroskop. Adapun karakter mikroskopis yang diamati adalah jenis gram dari BAL dan keberadaan endospora yang dilakukan dengan pewarnaan gram dan endospora. Kelompok bakteri gram positif dan negatif dapat dibedakan dengan melihat warna sel bakteri dengan bantuan mikroskop setelah dilakukan tahapan pewarnaan gram. Kelompok bakteri gram positif memiliki sel yang terpulas ungu dan kelompok bakteri gram negatif memiliki sel yang terpulas merah [14]. Adapun endospora akan tampak sebagai struktur sel yang terpulas hijau [15].

Koloni BAL yang diperoleh dari limbah produksi tempe memiliki warna putih susu (ES1F dan ES1G) dan putih kekuningan (ES1B dan ES2D). Jenis elevasi yang dimiliki oleh koloni BAL tersebut terdiri dari *raised* (ES1B dan ES1G) dan *convex* (ES1F dan ES2D). Jenis struktur dalam koloni yang dimiliki oleh koloni BAL tersebut terdiri dari *translucent* (ES1B dan ES1G) dan *opaque* (ES1F dan ES2D). Untuk bentuk dan struktur dalam koloni yang dimiliki oleh keempat koloni BAL tersebut seluruhnya seragam, yakni *circular* dan *entire*. Keempat isolat BAL yang diperoleh termasuk ke dalam kelompok bakteri gram positif. Hal ini diketahui dari sel bakteri yang tampak terpulas ungu, dan memiliki bentuk sel batang (bacil) dengan bentuk yang cukup bervariasi. Diketahui pula tidak terdapat endospora yang terpulas hijau pada keempat isolat BAL ini, sehingga seluruh isolat BAL juga tidak memproduksi spora (*non-spore forming*).

Karakterisasi biokimiawi bakteri diperlukan untuk dapat mengidentifikasi BAL berdasarkan dengan aktivitas dan proses biokimia yang terjadi. Karakterisasi biokimiawi yang dilakukan meliputi uji produksi indol, uji produksi H_2S dan fermentasi karbohidrat. Indol terbentuk ketika kandungan triptofan dalam medium SIM terdegradasi dan bereaksi dengan enzim *tryptophanase* yang

diproduksi bakteri [16]. Adapun produksi H₂S diandai dengan terbentuknya besi sulfid yang tampak sebagai endapan hitam pada bagian permukaan bawah medium [17]. Keempat isolat BAL diketahui tidak memproduksi indol sebab tidak terjadi perubahan warna pada permukaan atas medium menjadi merah ketika ditetesi dengan reagen Erlich. Keempat isolat BAL diketahui tidak memproduksi H₂S sebab tidak terbentuk endapan hitam pada bagian bawah medium. Untuk fermentasi karbohidrat, seluruh isolat BAL diketahui mampu melakukan fermentasi pada berbagai jenis sumber karbon sebab mampu mengubah warna seluruh medium NB yang semula merah menjadi menjadi oranye kekuningan. Perubahan warna pada medium menunjukkan adanya produksi asam dari proses fermentasi karbohidrat oleh isolat-isolat BAL tersebut. Terlihat pula adanya produksi gas pada beberapa tabung Durham di beberapa isolat BAL. Gas yang terdapat pada tabung Durham merupakan hasil akhir proses fermentasi yang berupa CO₂ [18]. Isolat BAL yang mampu mengubah warna dari medium sekaligus menghasilkan gas pada proses fermentasi karbohidrat dikelompokkan ke dalam kelompok BAL dengan sifat heterofermentatif yang mampu menghasilkan produk akhir lebih dari satu jenis [19]. Dengan demikian, keempat isolat BAL ini tergolong ke dalam kelompok fakultatif heterofermentatif (ES1F dan ES2D) serta heterofermentatif (ES1B dan ES1G).

Karakterisasi fisiologis bakteri diperlukan di dalam penelitian ini untuk dapat mengidentifikasi BAL berdasarkan dengan aktivitas selnya. Karakterisasi fisiologis yang dilakukan meliputi uji motilitas isolat BAL, uji aktivitas katalase isolat BAL serta pengamatan terhadap pertumbuhan isolat BAL dengan adanya berbagai tingkat variasi meliputi suhu, pH dan kadar garam (NaCl). Keempat isolat BAL diketahui bersifat non-motil karena seluruh isolat menunjukkan pertumbuhan pada medium hanya pada area tusukan dan tidak menyebar keluar dari area tersebut. Keempat isolat BAL ini juga diketahui memiliki aktivitas katalase negatif karena tidak terbentuk gelembung pada tetesan hidrogen peroksida pada seluruh isolat. Untuk pertumbuhan bakteri pada variasi faktor tumbuh yang berbeda, seluruh isolat BAL menunjukkan hasil yang bervariasi pula. Untuk pengamatan terhadap pertumbuhan dengan berbagai variasi pada suhu, keempat isolat BAL ini menunjukkan hasil yang berbeda pada setiap suhu. Suhu optimum untuk pertumbuhan isolat BAL berada pada nilai 25°C dan 37°C, dimana pertumbuhan BAL berada pada tingkat yang tinggi.

Pada suhu 10°C tidak terjadi aktivitas pertumbuhan pada seluruh isolat BAL karena kondisi lingkungan yang suhunya terlalu rendah sehingga isolat BAL sangat sulit untuk tumbuh. Pada suhu 45°C dan 55°C tidak terjadi aktivitas pertumbuhan pada seluruh isolat BAL karena kondisi lingkungan yang suhunya terlalu tinggi sehingga isolat BAL sangat sulit untuk tumbuh. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa seluruh isolat BAL tersebut tergolong ke dalam kelompok bakteri mesofilik (memiliki suhu optimum berkisar antara 20°C-37°C). Untuk pengamatan terhadap pertumbuhan dengan berbagai variasi pada pH, keempat isolat BAL ini menunjukkan hasil yang berbeda pula pada setiap nilai pH. Isolat BAL mampu tumbuh hanya pada nilai pH 4 dan 6, sementara pertumbuhan isolat BAL tidak terjadi pada nilai pH 8 dan 9,6. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa seluruh isolat BAL tersebut hanya dapat hidup pada lingkungan yang asam (aciduric). Untuk pengamatan terhadap pertumbuhan dengan berbagai variasi pada kadar garam, keempat isolat BAL ini menunjukkan hasil yang berbeda pula pada setiap nilai kadar garam. Isolat BAL mampu tumbuh hanya kadar garam 4%, 6,5% dan 10%, sementara pertumbuhan isolat BAL tidak terjadi pada nilai kadar garam 10% dan 15%. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa seluruh isolat BAL tersebut bukan merupakan bakteri yang mampu hidup pada lingkungan ekstrem dengan kadar garam yang tinggi (non-halofilik).

Identifikasi dengan menggunakan data karakter fenotipik dilakukan untuk menentukan kemungkinan genus dan spesies bakteri, dimana identifikasi ini dilakukan dengan metode profile matching yang mengacu pada buku *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Berdasarkan identifikasi yang dilakukan dengan metode profile matching dan mengacu kepada buku *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, dapat dikatakan bahwa keempat isolat BAL yang diperoleh tergolong ke dalam genus *Lactobacillus*. Dari metode *profile matching* yang telah dilakukan, keempat isolat (ES1B, ES1F, ES1G dan ES2D) dapat digolongkan ke dalam genus *Lactobacillus* karena memiliki banyak karakter yang serupa dengan jenis bakteri ini meliputi sel yang berbentuk batang (bacil), gram positif, tidak membentuk spora (*non spore-forming*), bersifat non-motil, katalase negatif, anaerob fakultatif dan mampu melangsungkan proses fermentasi dengan asam laktat sebagai produk akhirnya [20]. Adapun data karakter tiap isolat yang diperoleh pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Identifikasi isolat BAL ES1B dan ES1G dengan metode *profile matching* yang mengacu *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*

Karakter	Isolat			Karakter Strain Pembanding I	
	ES1B	ES1G			
Morfologi	Koloni	Bentuk	<i>Circular</i>	Circular	<i>Circular</i>
		Warna	Putih kekuningan	Putih susu	Putih susu
		Elevasi	<i>Raised</i>	Raised	<i>Raised</i>
		Struktur dalam	<i>Translucent</i>	Translucent	<i>Translucent</i>
		Tepi	<i>Entire</i>	Entire	<i>Entire</i>
	Sel	Bentuk	Batang (<i>bacil</i>) yang tipis dan panjang	Batang (<i>bacil</i>) yang tipis dan panjang	Batang (<i>bacil</i>) yang tipis dan panjang
		Jenis gram	Gram Positif	Gram Positif	Gram Positif
		Produksi endospora	<i>Non spore-forming</i>	Non spore-forming	<i>Non spore-forming</i>
		Produksi indol	-	-	-
		Produksi H ₂ S	-	-	-
Biokimiawi	Fermentasi karbohidrat	Glukosa	HE	HE	HE
		Laktosa	HE	HE	HE
		Sukrosa	HE	HE	HE
		Galaktosa	HE	HE	HE
		Maltosa	HE	HE	HE
		Manitol	HE	HE	HE
		Xylosa	HE	HE	HE
		Motilitas	Non-motil	Non-motil	Non-motil
Katalase	Katalase negatif	Katalase negatif	Katalase negatif		
Fisiologis	Pertumbuhan BAL pada variasi suhu	10°C	-	-	-
		27°C	+++	+++	+++
		37°C	+++	+++	+++
		45°C	-	-	-
		55°C	-	-	-
	Pertumbuhan BAL pada variasi pH	pH 4	+++	+++	+++
		pH 6	+++	+++	+++
		pH 8	-	-	-
		pH 9,6	-	-	-
	Pertumbuhan BAL pada variasi kadar garam	4%	+++	+++	+++
		6,5%	+++	+++	+++
		10%	-	-	-
		15%	-	-	-
	Hasil identifikasi	<i>Lactobacillus fermentum</i>	<i>Lactobacillus fermentum</i>	<i>Lactobacillus fermentum</i>	

Keterangan:

- : Tidak memproduksi / tidak ada pertumbuhan
 +++ : Pertumbuhan banyak

HM : Homofermentatif
 HE : Heterofermentatif

Berdasarkan dari hasil identifikasi fentopik dengan menggunakan metode *profile matching* yang mengacu pada *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, dapat diketahui bahwa isolat ES1B

dan ES1G teridentifikasi sebagai spesies *Lactobacillus fermentum*. Dapat diketahui pula bahwa isolat ES1F dan isolat ES2D teridentifikasi sebagai spesies *Lactobacillus plantarum*.

Tabel 2. Identifikasi isolat BAL ES1F dan ES2D dengan metode *profile matching* yang mengacu pada *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*

Karakter	Isolat			Karakter Strain Pembeding II	
	ES1F	ES2D			
Morfologi	Koloni	Bentuk	<i>Circular</i>	<i>Circular</i>	<i>Circular</i>
		Warna	Putih susu	Putih kekuningan	Putih susu
		Elevasi	<i>Convex</i>	<i>Convex</i>	<i>Convex</i>
		Struktur dalam	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>
		Tepi	<i>Entire</i>	<i>Entire</i>	<i>Entire</i>
	Sel	Bentuk	Batang (<i>bacil</i>) yang tebal dan pendek	Batang (<i>bacil</i>) yang tebal dan pendek	Batang (<i>bacil</i>) yang tebal dan pendek
		Jenis gram	Gram Positif	Gram Positif	Gram Positif
		Produksi endospora	<i>Non spore-forming</i>	<i>Non spore-forming</i>	<i>Non spore-forming</i>
		Produksi indol	-	-	-
		Produksi H ₂ S	-	-	-
Biokimiawi	Fermentasi karbohidrat	Glukosa	HE	HE	HE
		Laktosa	HE	HE	HE
		Sukrosa	HM	HE	HM
		Galaktosa	HE	HE	HE
		Maltosa	HM	HE	HM
		Manitol	HM	HM	HM
		Xylosa	HM	HM	HM
		Motilitas	Non-motil	Non-motil	Non-motil
Katalase	Katalase negatif	Katalase negatif	Katalase negatif		
Fisiologis	Pertumbuhan BAL pada variasi suhu	10°C	-	-	-
		27°C	+++	+++	+++
		37°C	+++	+++	+++
		45°C	-	-	-
		55°C	-	-	-
	Pertumbuhan BAL pada variasi pH	pH 4	+++	+++	+++
		pH 6	++	+++	+++
		pH 8	-	-	-
		pH 9,6	-	-	-
	Pertumbuhan BAL pada variasi kadar garam	4%	+++	+++	+++
		6,5%	+++	+++	+++
		10%	-	-	-
15%	-	-	-		
Hasil identifikasi	<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Lactobacillus plantarum</i>		

Keterangan:

- : Tidak memproduksi / tidak ada pertumbuhan

+++ : Pertumbuhan banyak

HM : Homofermentatif

HE : Heterofermentatif

Aktivitas Antimikrobia Sel Bakteri Asam Laktat

Uji aktivitas antimikrobia bertujuan untuk mengetahui potensi sel kultur isolat BAL untuk menghasilkan senyawa antimikrobia. Tingkat potensi kultur sel isolat BAL dalam menghasilkan senyawa antimikrobia dapat dilihat dari besar zona penghambatan (zona halo) yang dihasilkan. Semakin besar ukuran zona penghambatan, maka semakin besar potensi yang dimiliki (Gambar 2). Zona jernih yang terbentuk dapat dibagi menjadi 2, yakni zona jernih dengan batas tepi jelas dan tegas

(menandakan adanya aktivitas bakteriosin) dan zona jernih dengan batas tepi kabur (menandakan adanya aktivitas asam) [21].

Pengujian aktivitas antimikrobia dengan metode *spot on the lawn* dipilih karena isolat BAL dapat tetap mampu memproduksi seluruh metabolit selama uji antimikrobia [13]. Pada pengujian ini, antibiotik kloramfenikol dipilih untuk menjadi kontrol positif karena memiliki spektrum hambatan luas, sehingga efektif menghambat pertumbuhan mikrobia patogen dan mengkonfirmasi sensitifitas bakteri patogen terhadap senyawa antimikrobia.

Medium NB tanpa kultur dipilih untuk menjadi kontrol negatif karena berfungsi mengkonfirmasi media NB tanpa adanya isolat BAL tidak memberikan efek penghambatan terhadap bakteri patogen uji [22]. Bakteri patogen uji yang digunakan pada pengujian kali ini adalah *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*.



Gambar 2. Aktivitas antimikrobia *Lactobacillus fermentum* ES1B dan ES1G serta *Lactobacillus plantarum* ES1F dan ES2D yang ditandai dengan zona jernih terhadap bakteri patogen (a) *Staphylococcus aureus* dan (b) *Escherichia coli*. Keterangan: A: ES1B, B: ES1F, C: ES1G, D; ES2D dan E: Kontrol +

Hasil aktivitas antibakteri dianalisis menggunakan uji *One Way Anova*. Pengujian ini menunjukkan hasil berbeda pada tingkat kepercayaan 95% (signifikansi 0,05). Hal ini berarti jenis isolat BAL berpengaruh terhadap aktivitas antimikrobia untuk menghambat pertumbuhan kedua bakteri patogen uji. Adapun data yang diperoleh pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Zona penghambatan pada uji antimikrobia isolat BAL dari limbah produksi tempe terhadap bakteri patogen uji *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*

Zona hambat (mm)		
Isolat	<i>Staphylococcus aureus</i>	Isolat
Kontrol -	0,0 ± 0,0^a	Kontrol -
<i>Lactobacillus fermentum</i> ES1B	14,00 ± 1,0 ^c	<i>Lactobacillus fermentum</i> ES1B
<i>Lactobacillus plantarum</i> ES1F	10,00 ± 1,0 ^b	<i>Lactobacillus plantarum</i> ES1F
<i>Lactobacillus fermentum</i> ES1G	14,33 ± 1,53^c	<i>Lactobacillus fermentum</i> ES1G
<i>Lactobacillus plantarum</i> ES2D	11,00 ± 1,0 ^b	<i>Lactobacillus plantarum</i> ES2D
Kontrol +	27,67 ± 1,53^d	Kontrol +

Aktivitas antimikrobia oleh isolat BAL yang mampu menghambat pertumbuhan mikroba patogen dapat terjadi karena adanya aktivitas internal isolat yang menghasilkan asam maupun

komponen metabolit lainnya. Adanya akumulasi metabolit primer (seperti asam asetat, asam laktat, etanol, dan karbondioksida) serta produksi komponen antimikrobia lain (seperti H₂O₂, diasetil dan bakteriosin) memicu terjadinya aktivitas antimikrobia oleh isolat BAL [23]. Asam laktat menjadi komponen antimikrobia utama yang berperan penting dalam aktivitas penghambatan mikroba patogen oleh isolat BAL. Adapun genus *Lactobacillus* yang diperoleh pada penelitian kali ini termasuk ke dalam golongan fakultatif heterofermentatif dan heterofermentatif sehingga menghasilkan asam laktat dari proses fermentasi melalui jalur *Pentose-Phosphate Pathway (PPP)*. Tidak hanya asam laktat, pada proses fermentasi ini dimungkinkan untuk dihasilkan produk lain seperti CO₂, etanol, atau asetat [24].

Pada pengujian aktivitas antimikrobia kali ini, digunakan isolat bakteri patogen uji *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* sebagai indikator. Digunakannya dua jenis bakteri patogen uji dengan jenis gram yang berbeda bertujuan untuk melihat spektrum penghambatan dari isolat BAL yang diuji. Isolat BAL yang memiliki spektrum penghambatan yang luas (*wide-spectrum*) merupakan bakteri yang mampu menghambat pertumbuhan baik bakteri patogen kelompok gram positif maupun gram negatif, sedangkan bakteri dengan spektrum penghambatan terbatas (*narrow-spectrum*) merupakan bakteri yang hanya mampu menghambat salah satunya [25]. Keempat isolat BAL yang diperoleh dari limbah produksi tempe telah dibuktikan mampu menghasilkan aktivitas penghambatan pada kedua jenis bakteri patogen tersebut. Daya hambat rata-rata seluruh isolat BAL terhadap bakteri *Escherichia coli* pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan daya hambat terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. Dengan demikian, seluruh isolat BAL yang diperoleh dari limbah produksi tempe merupakan bakteri dengan spektrum penghambatan yang luas (*wide-spectrum*).

Setiap isolat BAL diketahui memiliki luas zona penghambat yang berbeda-beda yang disebabkan oleh perbedaan kecepatan tumbuh dari isolat BAL serta kecepatan difusi dari senyawa antimikrobia yang dihasilkan [26]. Beberapa faktor seperti ukuran, jumlah serta bentuk zat yang berdifusi dapat mempengaruhi proses difusi yang terjadi. Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa aktivitas antimikrobia BAL memiliki nilai yang bervariasi dan seluruhnya berada pada tingkat yang lebih rendah dari antibiotik kloramfenikol sebagai kontrol positif. Untuk menghambat pertumbuhan

dari bakteri *Staphylococcus aureus*, isolat ES1G memiliki rata-rata zona penghambatan yang paling tinggi sementara isolat ES1F memiliki rata-rata zona penghambatan yang paling rendah. Untuk menghambat pertumbuhan dari bakteri *Escherichia coli*, isolat ES1G memiliki rata-rata zona penghambatan yang paling tinggi sementara isolat ES2D memiliki rata-rata zona penghambatan yang paling rendah. Secara keseluruhan, rata-rata zona penghambatan yang tertinggi dimiliki oleh isolat ES1G dalam menghambat pertumbuhan dari bakteri *Escherichia coli* sementara rata-rata zona penghambatan yang terendah dimiliki oleh isolat ES1F dalam menghambat pertumbuhan dari bakteri *Staphylococcus aureus*.

Simpulan

Berdasarkan hasil diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa seluruh isolat BAL yang diperoleh dari limbah produksi tempe (ES1B, ES1F, ES1G dan ES2D) masing-masing memiliki karakter morfologis, biokimiawi dan fisiologis yang dapat digunakan untuk melakukan identifikasi fenotipik hingga pada tingkat spesies dengan menggunakan metode *profile matching* yang mengacu pada *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Terdapat dua spesies BAL berbeda pada limbah produksi tempe, yakni *Lactobacillus fermentum* dan *Lactobacillus plantarum*. Seluruh isolat BAL diketahui pula memiliki spektrum penghambatan yang luas terhadap bakteri patogen uji *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Sebagian besar isolat menunjukkan aktivitas penghambatan dengan tingkat yang rendah. Diameter zona hambat yang cukup besar ditunjukkan oleh isolat ES1B dan ES1G dengan aktivitas penghambatan tingkat sedang terhadap *Escherichia coli*, yakni masing masing sebesar $16,33 \pm 1,53$ dan $17,0 \pm 2,0$.

Pustaka

- [1] Sopandi T., Wardah (2014), *Mikrobiologi Pangan: Teori dan Praktik*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [2] Kumalaningsih S. (2016), *Rekayasa Komoditas Pengolahan Pangan*, UB Press, Malang.
- [3] Widowati, S. (2016), *Teknologi Pengolahan Kedelai*, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Bogor.
- [4] Kulla P.D.K., Retnaningrum E. (2019), *Biochemical and Microbial Change in Food Fermentation 'Ubi Karet Busuk' Sumba, East Nusa Tenggara, Indonesia*, *ACM International Conference Proceeding Series*. 24-27.
- [5] Usman N.A., Suradi K., Gumilar J. (2018), Pengaruh konsentrasi bakteri asam laktat *Lactobacillus Plantarum* dan *Lactobacillus Casei* terhadap mutu mikrobiologi dan kimia mayones probiotik, *Jurnal Ilmu Ternak*. 18 (2), 79-85.
- [6] Ko S., Ahn C. (2000), Bacteriocin production by *Lactococcus lactis* KCA 2386 isolated from white kimchi, *Food Science and Biotechnology*. 9 (1), 263 - 269.
- [7] Oliveira M., Serrano I. (2015), *Frontiers in antimicrobial agents: The challenging of antibiotic resistance in the development of new therapeutics*, Bentham Ebooks, Lisbon.
- [8] Sun Z.H., Yu J., Dan T., Zhang W.Y., Zhang H.P. (2014), *Phylogenesis and Evolution of Lactic Acid Bacteria: Lactic Acid Bacteria-Fundamentals and Practice*, first ed., Springer Publishing Inc., New York.
- [9] Liu W., Pang H., Zhang H., Cai Y. (2014), *Biodiversity of lactic acid bacteria: Lactic Acid Bacteria-Fundamentals and*, first ed., Springer Publishing Inc., New York.
- [10] Adam M.R., Moss M.O. (2008), *Food Microbiology*, third ed., RSC Publishing, Cambridge.
- [11] Nurhikmayani R., Daryono, B.S., Retnaningrum E. (2019), Isolation and molecular identification of antimicrobial-producing Lactic Acid Bacteria from chao, South Sulawesi (Indonesia) fermented fish product, *Biodiversitas*. 20 (4), 1063-1068.
- [12] Retnaningrum E., Yossi T., Nur'azizah R., Sapalina F., Kulla P.D.K. (2020), Characterization of a bacteriocin as biopreservative synthesized by indigenous lactic acid bacteria from dadih soya traditional product used in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 21 (9), 4192-4198.
- [13] Tremonte P., Pannella G., Succi M., Tripaldi L., Sturchio M., Coppola R., Luongo D., Sorrentino E. (2017), Antimicrobial activity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from different environment : A Preliminary Study, *International Food Research Journal*. 24 (2), 852-859.
- [14] Post K., Songer G.J. (2005), *Microbiology bacterial and fungal agent of animal disease*, Elsevier Saunders, Philadelphia.

- [15] Prescott L.M., John P.H. (2002), *Microbiology*, fifth ed., McGraw-Hill Company, New York.
- [16] Laboffe M.J., Pierce B.E. (2019), *Microbiology laboratory theory & application essentials*, Morton Publishing Company, Englewood.
- [17] Delost M.D. (2015), *Introduction to diagnostic microbiology for the laboratory sciences*, Jones & Bartlett Learning, USA.
- [18] Murwani S. (2015), *Dasar-Dasar Mikrobiologi Veteriner*, UB Press, Malang.
- [19] Lestari L.A., Harmayani E., Utami T., Sari P.M., Nurviani S. (2018), *Dasar-Dasar mikrobiologi makanan di bidang gizi dan kesehatan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [20] de Vos P. D., Garrity G.M., Jones D., Krieg N.R., Ludwig W., Rainey F.A., Schleifer K.H., Whitman W.B. (2009), *Bergey's manual of systematic bacteriology*, second ed., vol 3, *The Firmicutes*, Springer, New York.
- [21] Romadhon, Hamidah M., Rianingsih L. (2019), Aktivitas antibakteri isolat bakteri asam laktat dari peda dengan jenis ikan berbeda terhadap *E. coli* dan *S. aureus*, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*. 1 (2), 11-21.
- [22] Cardici B.H., Citak S. (2005), A comparison of two methods used for measuring antagonistics activity of lactic acid bacteria, *Pakistan Journal of Nutrition*. 4 (4), 237-241.
- [23] Delgado A., Brito D., Fevereiro P., Peres C., Marques J.F. (2001), Antimicrobial activity of *L. plantarum*, isolated from a traditional Lactic acid fermentation of table olives, *INRA, EDP Science*. 81 (1), 203-215.
- [24] Shah N.P. (2000), Probiotic bacteria: selective enumeration and survival in dairy foods, *Journal of Dairy Science*. 83 (4), 894-907.
- [25] Mycek M.J., Richard A.H., Pamela C. (1997), *Farmakologi: Ulasan Bergambar*, Penerbit Widya Medika, Jakarta.
- [26] Davidson P.M., Parish M.E. (1989), Methods for testing the efficacy of food antimicrobials, *Food Technology*. 1, 148-155.

KORELASI DATA GRAVITASI SATELIT PADA DAERAH PANAS BUMI BLAWAN-IJEN

CORRELATION OF SATELLITE GRAVITATION DATA IN BLAWAN GEOHERMAL AREA -IJEN

Novi Anivatul Karimah¹, Supriyadi^{1,*}, Agus Suprianto¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember, Jember, Indonesia

*email korespondensi: supriyadi@unej.ac.id

Abstrak

Energi panas bumi merupakan energi sumber daya alam berupa air panas atau uap panas yang terbentuk melalui pemanasan di dalam bumi. Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi adalah Blawan-Ijen. Metode yang sering digunakan untuk identifikasi panas bumi adalah metode gravitasi. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data gravitasi satelit yaitu BGI dan GGMplus. Data *Bouguer* BGI merupakan data anomali *Bouguer* yang sudah siap diolah, sedangkan untuk data GGMplus masih merupakan data *gravity disturbance*. Data gravitasi GGMplus tergolong data gravitasi yang masih baru, sehingga diperlukan perbandingan dengan data gravitasi lainnya. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui korelasi antara data gravitasi BGI dengan GGMplus. Proses korelasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemiripan antara data gravitasi GGMplus dengan BGI. Korelasi dilakukan dengan membuat digitasi kontur anomali gravitasi pada *software Surfer* dan menghitung nilai korelasi antar titik data gravitasi BGI dan GGMplus. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ABL GGMplus dengan ABL BGI memiliki kemiripan dengan nilai korelasi sebesar 0,94. Kontur ABL GGMplus dan ABL BGI menunjukkan bahwa daerah pegunungan Ijen didominasi oleh nilai ABL rendah dengan rentang nilai 70 hingga 100 mGal. Pada kedua kontur ABL tersebut juga teramati kontras anomali gravitasi yang menunjukkan keberadaan patahan.

Kata kunci: metode gravitasi, panas bumi, anomali Bouguer lengkap, BGI, GGMplus

Abstract

Geothermal energy is the energy of natural resources in the form of hot water or hot steam formed through heating inside the earth. One of the area that has geothermal potential is Blawan-Ijen. The method often used for geothermal identification is the gravity method. The data used in this study are satellite gravity data, i.e BGI and GGMplus. Bouguer BGI data is Bouguer anomaly data that is ready to be processed, while GGMplus data is still a gravity disturbance data. GGMplus is a new gravity data, so comparison with other gravitational data is needed. The goal of this study was to determine the correlation between BGI and GGMplus gravity data. The correlation process is carried out to find out how much the similarity between BGI and GGMplus gravity data. Correlation is done by making the gravity anomaly contour digitized on the Surfer software and calculating the correlation value between the BGI and GGMplus gravity data points. The results obtained show that ABL GGMplus and ABL BGI is similar with the correlation value of 0.94. The ABL GGMplus and ABL BGI contours show that the Ijen Mountain area is dominated by low ABL values with a range of 70 to 100 mGal. In both ABL contours, contrast gravity anomalies were observed which indicate that faults exist.

Keywords: Gravity method, geothermal, Bouguer anomaly, BGI, GGMplus

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki sebaran panas bumi yang tinggi di lebih dari 265 lokasi yang tersebar dari Nangro Aceh Darussalam sampai Irian Jaya. Potensi panas bumi yang dimiliki Indonesia merupakan yang terbesar di dunia dengan kandungan potensi panas bumi sebesar 29 GWe atau sekitar 40% dari kandungan panas bumi di dunia [1]. Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi adalah Blawan, yang secara geografis terletak di 7°59'9"LS–114°10'32"BT Desa Kalianyar, Kecamatan Sempol, Kabupaten Bondowoso. Potensi panas bumi di daerah Blawan ditandai dengan adanya sebaran

sumber air panas di bagian Utara dengan suhu berkisar 30°C–51°C. Munculnya sumber air panas di sekitar Blawan diakibatkan oleh terbentuknya patahan di Kaldera bagian Utara yang dikenal dengan Patahan Blawan [2].

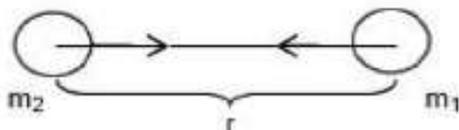
Salah satu survei yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan adalah geofisika. Geofisika merupakan ilmu yang mempelajari tentang bumi menggunakan parameter fisika. Metode gravitasi adalah metode geofisika yang didasarkan pada perbedaan medan gravitasi akibat adanya perbedaan rapat massa batuan penyusun yang ada di bawah permukaan bumi.

Data percepatan gravitasi yang didapat selama pengukuran diolah menjadi anomali percepatan gravitasi bumi. Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut dapat diketahui perbedaan rapat massa batuan, sehingga data tersebut dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan yang mengandung potensi energi geothermal di daerah penelitian [3]. Metode gravitasi memiliki kelebihan untuk survei awal karena memberikan informasi yang detail tentang struktur geologi dan kontras densitas batuan.

Pada kasus panas bumi, perbedaan densitas batuan merupakan acuan dalam penyelidikan metode gravitasi, dimana daerah sumber panas di bawah permukaan bumi dapat menyebabkan perbedaan densitas dengan massa batuan di sekitarnya. Prinsip dasar fisika yang menjadi dasar metode gravitasi adalah hukum Newton [4]. Gambar 1 menginformasikan hukum Newton yang menjelaskan tentang gaya tarik menarik antara dua buah massa yang terpisah dengan jarak r , dapat dituliskan dalam rumus berikut [5].

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

dengan F adalah gaya gravitasi (Newton), G adalah konstanta gravitasi ($6,6 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$), m_1 adalah massa 1 (kg), m_2 adalah massa 2 (kg), dan r adalah jarak (m).



Gambar 1. Gaya tarik menarik antara 2 buah benda

Percepatan gravitasi benda bermassa m yang disebabkan oleh tarikan massa bumi pada jarak r dapat dituliskan dalam rumus berikut [5].

$$g = G \frac{M}{r^2} = \frac{F}{m} \quad (2)$$

dengan g merupakan percepatan gravitasi bumi (m/s^2). Pengukuran data gravitasi tidak hanya dilakukan secara langsung, namun dilakukan menggunakan satelit yang dilengkapi dengan posisi titik data di permukaan bumi. Data gravitasi satelit di antaranya adalah *Bureau Gravimetrique International* (BGI) dan *Global Gravity Model plus* (GGMplus). Setiap data gravitasi satelit memiliki spasi antar titik yang berbeda-beda. Data gravitasi GGMplus memiliki spasi antar titik yang lebih

rapat ($\pm 220 \text{ m}$) jika dibandingkan dengan data gravitasi BGI ($\pm 3,6 \text{ km}$) [6].

BGI (*Bureau Geometrique International*) dibentuk pada tahun 1951 oleh *International Assosiation Geodesy* (IAG), salah satu dari tujuh asosiasi IUGG (*International Union in Geophysics and Geodesy*). Tujuan awal pembuatan BGI adalah untuk mengumpulkan semua pengukuran gravitasi berdasarkan skala dunia sehingga dihasilkan data gravitasi global bagi setiap pengguna publik atau pribadi [7]. Data BGI yang digunakan merupakan model gravitasi WGM2012 (*the World Gravity Map 2012*). WGM2012 merupakan peta anomali gravitasi global pertama yang diperoleh dengan memperhitungkan model bumi yang sebenarnya. WGM2012 terdiri dari seluruh massa yang ada di permukaan [8].

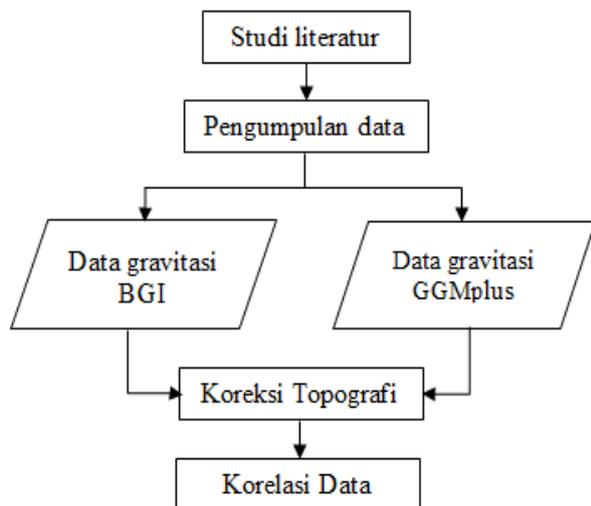
GGMplus (*Global Gravity Model plus*) adalah model komposit yang memurnikan model gravitasi yang ada dari pelacakan satelit ruang angkasa dan data terrestrial (GRACE, GOCE dan EGM2008) dengan informasi data gravitasi topografi resolusi tinggi yang berasal dari data topografi SRTM. Model gravitasi GGMplus merupakan hasil dari inisiatif penelitian Universitas Curtin (Perth, Australia Barat) dan Universitas Teknik Munich (Jerman). Gravitasi GGMplus menyediakan grid data percepatan gravitasi, *gravitasi disturbance*, *undulasi quasigeoid*, dan defleksi komponen vertikal Utara-Selatan dan Barat-Timur [9]. Kelebihan dari penggunaan data satelit dibanding data pengukuran lapang adalah tidak memerlukan biaya.

Selain itu, untuk melakukan perluasan wilayah yang akan diteliti menjadi mudah karena data gravitasi dapat diakses dengan mudah. Data satelit bisa diperoleh melalui situs *online* yang telah disediakan, sedangkan untuk penelitian lapang masih memerlukan biaya untuk sewa alat dan penginapan di lokasi penelitian. Penelitian ini menggunakan dua variasi data satelit yaitu data gravitasi BGI dan data gravitasi GGMplus. Data *Bouguer* BGI yang diperoleh merupakan data anomali *Bouguer* yang sudah siap diolah, sedangkan untuk data GGMplus masih merupakan data *gravity disturbance*. Data gravitasi GGMplus tergolong data gravitasi yang masih baru, sehingga diperlukan perbandingan dengan data gravitasi yang lainnya. Oleh karena itu, disusunlah penelitian tentang korelasi data gravitasi satelit di daerah potensi panas bumi Blawan-Ijen untuk mengetahui hasil korelasi antara data gravitasi GGMplus dengan data gravitasi BGI pada daerah panas bumi Blawan-Ijen.

Metode Penelitian

Pengumpulan Data

Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Data yang akan diolah pada penelitian ini adalah data gravitasi satelit (data BGI tahun 2012 dan data GGMplus tahun 2013). Data gravitasi yang diteliti mencakup wilayah pegunungan Ijen dengan koordinat 114,00°-114,33° BT dan 7,83°-8,17° LS.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Koreksi Topografi pada Data GGMplus

Data GGMplus yang diperoleh setelah proses ekstraksi masih berupa data *gravity disturbance*, sedangkan data BGI yang digunakan adalah data *free air*, maka perlu koreksi lebih lanjut untuk mendapatkan data ABL (Anomali Bouguer Lengkap)-nya sehingga data GGMplus dan data BGI dapat diolah lebih lanjut. Koreksi yang dilakukan adalah koreksi topografi yang memuat koreksi Bouguer dan koreksi terrain. Koreksi Bouguer dilakukan untuk menghilangkan pengaruh adanya massa dari datum sampai pada ketinggian titik pengukurannya. Sedangkan koreksi terrain dilakukan untuk menghitung variasi percepatan gravitasi yang disebabkan variasi topografi pada setiap titik penelitian.

Koreksi Bouguer yang dilakukan menggunakan software Microsoft Excel 2010. Input yang dibutuhkan pada perhitungan koreksi Bouguer adalah nilai *gravity disturbance* GGMplus. Koreksi Bouguer dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$K_B = 0,0419 \times \rho \times h \quad (3)$$

dimana nilai ρ yang digunakan merupakan nilai densitas rata-rata batuan sebesar 2,67 g/cm³ dan data h yang digunakan adalah data *gravity disturbance (free air)* GGMplus. Dari nilai koreksi Bouguer yang telah diperoleh, maka dapat diketahui nilai ABS (Anomali Bouguer Sederhana) dengan persamaan.

$$ABS = FA - K_B \quad (4)$$

dengan FA adalah nilai *free air* GGMplus dan K_B adalah nilai koreksi Bouguer.

Koreksi terrain yang dilakukan menggunakan software Oasis Montaj dan Global Mapper 15. Global Mapper 15 digunakan untuk mendapatkan data topografi, *inner* dan *outer* dari data DEM SRTM wilayah penelitian. Software Oasis Montaj digunakan untuk mengolah data *latitude*, *longitude*, dan topografi (juga *inner* dan *outer*) menjadi data terkoreksi terrain. Hasil data koreksi terrain yang diperoleh kemudian diolah di Microsoft Excel 2010 untuk mendapatkan data ABL (Anomali Bouguer Lengkap). Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai ABL adalah.

$$ABL = ABS - K_T \quad (5)$$

dengan ABS adalah nilai anomali Bouguer sederhana dan K_T adalah nilai yang sudah dikoreksi terrain.

Korelasi Data Gravitasi GGMplus dan Data Gravitasi BGI

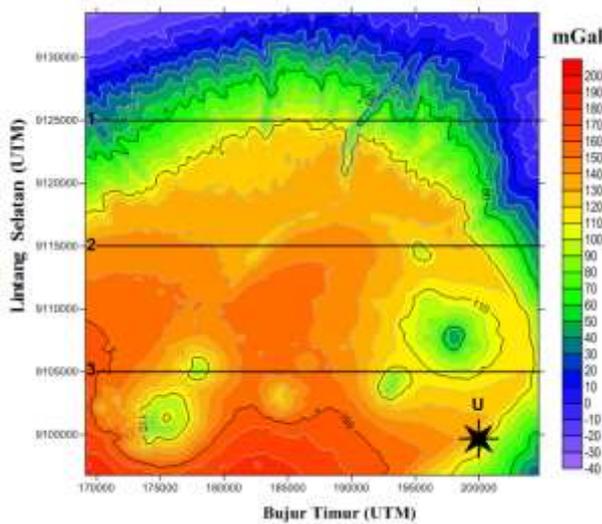
Korelasi data dilakukan untuk mengetahui berapa perbedaan atau kesamaan antara dua buah data. Data yang akan dikorelasikan adalah data ABL GGMplus – ABL *free air* BGI dan data ABL GGMplus – data Bouguer BGI. Sebelum melakukan korelasi data, dilakukan digitasi menggunakan software Surfer 12 untuk mendapatkan nilai pada titik-titik yang diinginkan. Nilai korelasi data bervariasi dari -1 hingga 1. Nilai -1 menunjukkan adanya hubungan linier negatif (berkebalikan), nilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara dua variabel, dan nilai 1 menunjukkan hubungan linier positif (berbanding lurus) [10]. Korelasi data dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$r = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{N \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (6)$$

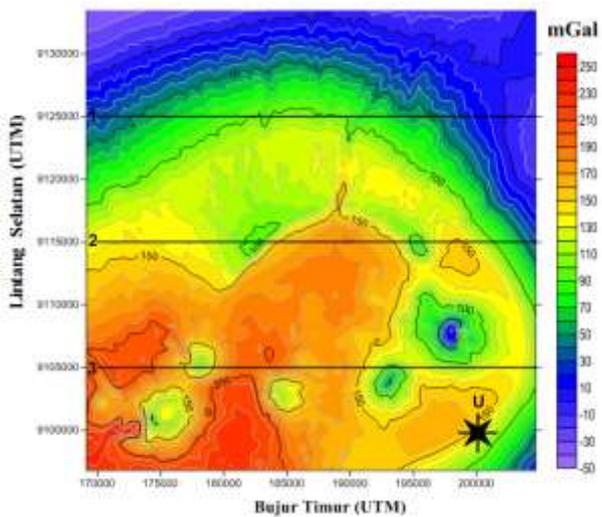
dimana r = korelasi, N = jumlah data, x = variabel 1, dan y = variabel 2

Hasil dan Diskusi

Proses korelasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan atau persamaan antara data gravitasi GGMplus dan gravitasi BGI. Pada penelitian ini digunakan 3 lintasan yang mewakili untuk dilakukan korelasi tiap data, proses ini disebut dengan proses digitasi. Digitasi dilakukan dengan menggunakan *software Surfer 12* dengan membuat 3 lintasan membujur pada koordinat lintang yang sama. Lintasan 1 dibuat membujur pada koordinat 9125000 UTM, lintasan 2 membujur pada koordinat 9115000 UTM, dan lintasan 3 membujur pada koordinat 9105000 UTM.



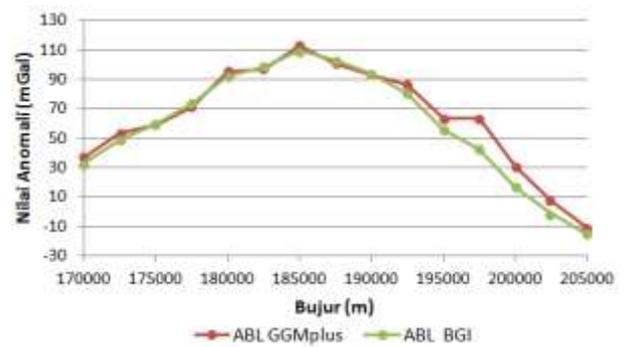
Gambar 3. Kontur ABL GGMplus yang di-overlay dengan lintasan korelasi



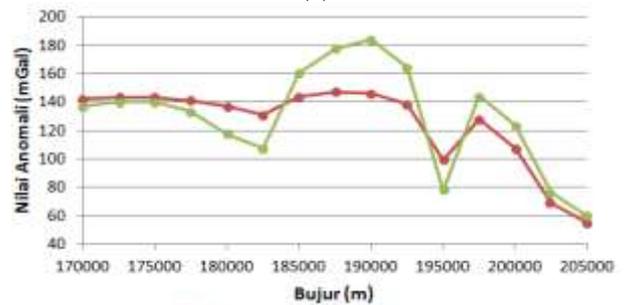
Gambar 4. Kontur ABL BGI yang di-overlay dengan lintasan korelasi

Berdasarkan Gambar 3 dan 4 dapat diketahui bahwa data ABL GGMplus dan data ABL BGI

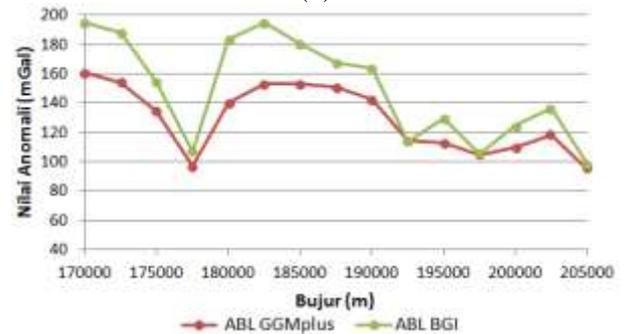
memiliki kemiripan dengan rentang nilai anomali ABL GGMplus berkisar antara -40 sampai 200 mGal dan rentang anomali ABL BGI berkisar antara -50 sampai 250 mGal. Pada kedua gambar tersebut, nilai anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru hingga hijau yang berada pada bagian Utara daerah penelitian dengan rentang nilai -50 sampai 90 mGal. Pada bagian tengah daerah penelitian ada beberapa bagian yang berwarna hijau yang berkorelasi dengan letak pegunungan. Hal ini menandakan bahwa pada daerah puncak gunung api nilai anomali gravitasinya rendah. Daerah pegunungan Ijen didominasi oleh nilai ABL rendah dengan rentang nilai 70 hingga 100 mGal.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Grafik korelasi data gravitasi GGMplus dan BGI, (a) lintasan 1, (b) lintasan 2, dan (c) lintasan 3

Nilai anomali tinggi ditunjukkan dengan warna kuning hingga kemerahan yang berada di

bagian Barat Daya daerah penelitian. Dari peta kontur ABL GGMplus dan ABL BGI yang diperoleh, terdapat beberapa kawah dan patahan yang nampak. Keberadaan patahan ditandai dengan adanya perbedaan nilai densitas dengan daerah di sekitarnya dan menyebabkan adanya perbedaan densitas yang tinggi. Nilai densitas berhubungan dengan nilai anomali gravitasi. Semakin tinggi nilai anomali gravitasi, maka semakin tinggi nilai densitas batuan penyusunnya. Hasil dari proses digitasi berupa data anomali pada titik-titik lintasan yang diinginkan. Hasil digitasi pada 3 lintasan disajikan dengan pembuatan grafik pada Gambar 5 untuk melihat pola nilai per lintasan. Selanjutnya hasil dari grafik dianalisis untuk mendapatkan nilai korelasinya, seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi antara data gravitasi GGMplus dengan data gravitasi BGI

Lintasan	Nilai korelasi
1	0,987
2	0,861
3	0,972
Rata-rata	0,940

Berdasarkan grafik yang diperoleh (Gambar 4), pada masing-masing lintasan 1, 2, dan 3 dapat diketahui bahwa nilai anomali gravitasi ABL GGMplus (grafik warna merah) dan nilai ABL BGI (grafik warna hijau) pada titik yang sama memiliki pola dan nilai yang hampir sama. Hal ini ditandai dengan letak dari kedua grafik ini yang saling berdekatan dan ada beberapa titik yang berhimpit satu sama lain. Tabel 1 memuat nilai korelasi antara 2 buah data pada tiap lintasan. Pada tiap lintasan, nilai korelasi tiap data berbeda-beda. Hal ini sesuai dengan seberapa kecil perbedaan antara 2 data yang dikorelasikan.

Semakin kecil perbedaan yang ada pada kedua data maka semakin besar nilai korelasinya, sebaliknya semakin besar perbedaan antara kedua data maka semakin kecil nilai korelasinya. Nilai korelasi pada lintasan 1 lebih besar dibanding dengan lintasan 2 dan 3 dikarenakan pada lintasan ini ada lebih banyak data yang memiliki nilai yang hampir sama. Dari Tabel 1 kita dapat mengetahui bahwa rata-rata nilai korelasi antara data ABL GGMplus – ABL BGI adalah 0,940.

Simpulan

Daerah Pegunungan Ijen didominasi oleh nilai ABL rendah dengan rentang nilai 70 hingga 100 mGal. Data ABL GGMplus memiliki kemiripan data dengan ABL BGI dengan nilai korelasi rata-

rata 0,940. Hasil korelasi ini didapatkan untuk data gravitasi pada wilayah Ijen. Perlu uji korelasi lain dan data wilayah lain sehingga hasil korelasi berlaku secara umum dan data gravitasi GGMplus dapat digunakan secara luas.

Pustaka

- [1] Saptadji N. M. (2001), *Teknik panas bumi*. Institut Teknologi Bandung.
- [2] Zaennudin. A, Wahyudin, Deden, Surmayadi, Mamay, E., & Kusdinar. (2012), Prakiraan bahaya letusan gunung api Ijen Jawa Timur. *Lingkungan dan Bencana Geologi*, 3(2), 109-132.
- [3] Telford, W. N., Geldard, L. P., Sherrif, R. E., Keys, D. A. (1979), *Applied geophysics*. Cambridge University Press.
- [4] Anshory, H. A. (2010), Pemodelan geothermal daerah X menggunakan metode magnetotelurik. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- [5] Serway, R. A, & Jewett, J. W. (2009), *Fisika untuk sains dan teknik*. Salemba Teknika.
- [6] Aziz, K. N. (2018), Identifikasi struktur bawah permukaan lapangan panas bumi Lamongan berdasarkan analisis data gravitasi GGMplus. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada.
- [7] Bonvalot, S. (2009). Bureau Gravimetrique International (BGI). *Report of the International Association of Geodesy*, 1-10.
- [8] Bonvalot, S., G. Balmino, A. Briaris, M. Kuhn, A. Peyrefitte, N. Vales, R. Biancale, G. Gabalda, G. Moreaux, F. Reinquin, M., & Sarrailh. (2012). World gravity map. *Bureau Gravimetrique International (BGI)*, 1(2), 1-8
- [9] Hirt, C., S. Claessens, T. Fecher, M. Kuhn, R. Pail, M., & Rexer. (2013), New ultra-high resolution picture of earth's gravity field, *Geophysical Research Letters*, 40(1), 13-17.
- [10] Chen, P. Y., & Popovich, P. M. (2002), *Correlation: Parametric and nonparametric measure*. Sage Publications.

ESTIMASI PARAMETER DATA BERDISTRIBUSI NORMAL MENGUNAKAN MAKSIMUM LIKELIHOOD BERDASARKAN NEWTON RAPHSON

ESTIMATION OF NORMAL DISTRIBUTED DATA PARAMETERS USING THE MAXIMUM LIKELIHOOD BASED ON NEWTON RAPHSON

Switamy Angnitha Purba

Program Studi Matematika, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar, Medan, Indonesia

*email korespondensi: switamyangnithapurba@gmail.com

Abstrak

Estimasi parameter adalah praktik umum dalam statistik. Maximum Likelihood adalah metode estimasi parameter berdasarkan pendekatan distribusi dengan cara memaksimalkan fungsi likelihood. Mean, deviasi standar, proporsi dan lain-lain merupakan perkiraan nilai parameter dengan menggunakan data atau sampel yang dapat diambil dari populasi tersebut. Algoritma Newton Raphson adalah prosedur iteratif yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan non-linier. Fokus makalah ini adalah mengestimasi parameter data yang berdistribusi normal menggunakan Maximum Likelihood berdasarkan algoritma iterasi Newton Raphson dengan program matlab.

Kata kunci: estimasi parameter, maximum likelihood, newton raphson

Abstract

The parameter estimation is a common practice in statistics. Maximum Likelihood is a method of estimating parameters based on the distribution approach by maximizing the likelihood function. Mean, standard deviation, proportion and others are estimates of parameter value using data or samples that can be taken from the population. Newton Raphson's Algorithm is an iterative procedure used to solve non-linear equations. The focus in this paper is to estimate data parameter that are normally distributed using Maximum Likelihood based on Newton Raphson iteration algorithm with matlab program.

Keywords: parameter estimation, maximum likelihood, newton raphson

Pendahuluan

Estimasi maksimum *likelihood* adalah sebuah metode yang memaksimalkan fungsi *likelihood* untuk memperoleh penaksir parameter dengan kemungkinan maksimum. Dengan begitu diperoleh bentuk implisit dan non linear yang dapat digunakan untuk menyelesaikan algoritma *newton raphson*. *Maksimum Likelihood estimation* adalah metode estimasi parameter pada gugus data yang memiliki sebaran distribusi. Algoritma *Newton Raphson* merupakan prosedur perulangan dalam mencari solusi optimal persamaan nonlinear dengan memanfaatkan vektor turunan pertama dan matriks turunan kedua dari fungsi. Algoritma *Newton Raphson* hampir sama dengan algoritma *Fisher Scoring* akan tetapi yang membedakannya adalah pada *Fisher Scoring* menggunakan nilai ekspektasi dari matriks turunan kedua [4].

Metode *Maksimum Likelihood* merupakan metode yang menggunakan nilai pada ruang parameter Ω untuk mengestimasi nilai parameter yang tidak diketahui. Bain dan engelhard mengatakan bahwa $L(\theta)$ merupakan fungsi peluang

dari sampel random dan oleh karena Ω merupakan interval terbuka maka $L(\theta)$ adalah sebuah fungsi yang bisa diturunkan dan diperkirakan dapat maksimum pada Ω [1]. Estimasi parameter perlu dilakukan untuk memperoleh parameter populasi yang tidak diketahui dengan menggunakan data sampelnya. Beberapa riset menggunakan *maksimum likelihood* sudah banyak dilakukan, salah satunya adalah Bolstad yang melakukan estimasi parameter menggunakan data tersensor yang berdistribusi gamma menggunakan algoritma *Expectation Maximization* (EM) [3].

Salah satu kegunaan algoritma Newton Raphson dalam permasalahan statistika adalah bahwa loglikelihood dalam banyak permasalahan mendekati fungsi kuadratik yang menyebar dititik maksimumnya. Hal itulah yang dihubungkan dengan prakiraan kemungkinan maksimumnya yang terdistribusi normal bahwa logaritma dari distribusi normal adalah sebuah fungsi kuadratik. Oleh karena itu, prakiraan dengan *loglikelihood* adalah sebuah pendekatan yang sangat bagus dan mendekati titik

maksimumnya [5]. Fokus dalam penulisan ini adalah untuk mengestimasi parameter data yang berdistribusi normal menggunakan *Maximum Likelihood* berdasarkan algoritma iterasi *Newton Raphson* dengan bantuan program Matlab.

Metode Penelitian

Fokus pada penelitian ini adalah melakukan estimasi parameter pada suatu data berdistribusi normal menggunakan *Maksimum Likelihood* berdasarkan *Newton Raphson*. Oleh karena itu, pada penulisan ini akan mengambil sebuah contoh data berdistribusi normal. Selanjutnya, (a) menemukan fungsi *likelihood* dari data berdistribusi normal. (b) Menemukan fungsi *log-likelihood* dari data berdistribusi normal. (c) Melakukan estimasi parameter dengan menggunakan *Maksimum Likelihood* berdasarkan algoritma *Newton Raphson* $\theta^{(k+1)} = \theta^{(k)} - H(\theta^{(k)})^{-1} l'(\theta^{(k)})$.

$H(\theta^{(k)})$ adalah matriks Hessian $s \times s$ dari turunan kedua $l(\theta)$ dievaluasi pada saat $\theta^{(k)}$ dan $l'(\theta^{(k)})$ adalah turunan pertama dari *loglikelihood*. (d) Membangun Algoritma *Newton Raphson* pada program Matlab. (e) Mengaplikasikan contoh data berdistribusi normal yang akan digunakan untuk mencari estimasi parameter data dari algoritma *Newton Raphson* pada program Matlab. (f) Membandingkan hasil estimasi parameter data berdistribusi Normal berdasarkan *Newton Raphson* dengan Matlab dan SPSS.

Hasil dan Diskusi

Data Berdistribusi Normal

Pada penulisan ini akan dilakukan estimasi parameter pada sebuah data berdistribusi normal.

Tabel 1. Data Berdistribusi Normal

No	Tahun	Jumlah
1	2005	7
2	2006	10
3	2007	20
4	2008	30
5	2009	50
6	2010	67
7	2011	75
8	2012	60
9	2013	48
10	2014	34
11	2015	22
12	2016	14
13	2017	9

Estimasi Parameter Data Berdistribusi Normal Menggunakan Maksimum Likelihood

Sebuah data berdistribusi normal memiliki fungsi kepadatan peluang bersama (pdf) parameter μ dan σ^2 sebagai berikut :

$$f(y_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y_i-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Fungsi *likelihood* distribusi normal adalah

$$\begin{aligned} L(\theta|y_1, y_2, \dots, y_N) &= \prod_{i=1}^N L(\theta|y_i) \\ &= \prod_{i=1}^N f(y_i) = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y_i-\mu)^2}{2\sigma^2}} \\ &= (2\pi\sigma^2)^{-\frac{N}{2}} \exp\left(-\sum_{i=1}^N \frac{(y_i-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \end{aligned}$$

Fungsi *log likelihood* distribusi normal adalah

$$\begin{aligned} l(\theta|y_1, y_2, \dots, y_N) &= \log L(\theta|y_1, y_2, \dots, y_N) \\ &= \log \left[\prod_{i=1}^N L(\theta|y_i) \right] \\ &= \ln \left[(2\pi\sigma^2)^{-\frac{N}{2}} \exp\left(-\sum_{i=1}^N \frac{(y_i-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right] \\ &= -\frac{N}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \sum_{i=1}^N \frac{(y_i-\mu)^2}{2\sigma^2} \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini dilakukan estimasi parameter μ dan σ^2 dengan algoritma *Newton Raphson*.

Maksimum Likelihood Berdasarkan Algoritma Newton Raphson

Pada algoritma *Newton Raphson* perlu turunan pertama fungsi *log likelihood* $l'(\theta)$ dan matriks Hessian $H(\theta^{(k)})$. Untuk diaplikasikan pada persamaan algoritma *newton raphson*:

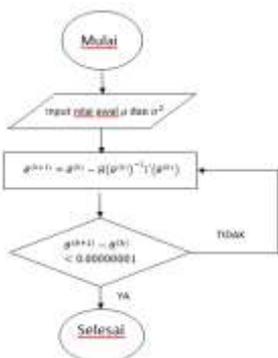
$$\theta^{(k+1)} = \theta^{(k)} - H(\theta^{(k)})^{-1} l'(\theta^{(k)})$$

Sehingga diperoleh bentuk algoritma metode *newton raphson* untuk populasi data kecelakaan yang berdistribusi normal adalah sebagai berikut:

$$= \begin{pmatrix} \mu \\ \sigma^2 \end{pmatrix}^k - \begin{bmatrix} -\frac{N}{\sigma^2} & -\frac{\sum_{i=1}^N -y_i + N\mu}{\sigma^4} \\ -\frac{\sum_{i=1}^N -y_i + N\mu}{\sigma^4} & \frac{N}{2\sigma^4} - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \mu)^2}{\sigma^6} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu) \\ -\frac{N}{2\sigma^2} + \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \mu)^2}{2\sigma^4} \end{bmatrix}$$

Membangun Algoritma Maksimum Likelihood Berdasarkan Newton Raphson Pada Matlab

Algoritma *newton raphson* yang dibangun adalah algoritma iterasi dengan nilai awal estimasi parameternya adalah sembarang dengan selisih perbedaannya adalah 0.00000001. Jadi, membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan mengestimasi parameter tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan Program Matlab. Berikut diagram alir algoritma *Maksimum Likelihood* berdasarkan *Newton Raphson*.



Gambar 1. Diagram Alir Newton Raphson

Hasil Algoritma Maksimum Likelihood berdasarkan Newton Raphson

Dari algoritma yang telah dibangun diperoleh hasil iterasi sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil μ dan σ^2 menggunakan Matlab

Iterasi	μ	σ^2
1	32.2059568	70.7757296
2	33.3456395	103.1727614
3	33.8822083	148.8026415
4	34.1316820	210.3579703
5	34.2427661	287.9541746
6	34.2881272	374.7276378
7	34.3036555	452.0446314
8	34.3073012	495.8408571
9	34.3076843	505.9381605
10	34.3076923	506.3661386
11	34.3076923	506.3668639

Berikut hasil perhitungan μ dan σ^2 menggunakan SPSS tanpa mengklasifikasikan data tersebut merupakan data berdistribusi normal atau tidak.

Tabel 3. Hasil μ dan σ^2 menggunakan SPSS

Descriptive Statistics			
	N	Mean	Variance
VAR00006	13	34.3077	548.564
Valid N (listwise)	13		

Perbandingan hasil estimasi parameter dengan menggunakan metode Newton Raphson dan SPSS.

Tabel 4. Perbandingan hasil Matlab dan SPSS

	μ	σ^2
Matlab	34.3076923	506.3668639
SPSS	34.3077	548,564

Simpulan

Hasil estimasi parameter μ dan σ^2 data berdistribusi normal dengan algoritma *Maksimum Likelihood* berdasarkan *Newton Raphson* sangat baik untuk estimasi parameter μ sedangkan untuk estimasi parameter σ^2 perlu dilakukan studi lebih lanjut lagi karena terdapat perbedaan yang cukup besar. Serta penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan data berdistribusi yang lainnya dan dengan menggunakan metode yang berbeda.

Ucapan Terima Kasih

Saya berterimakasih kepada Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar. Saya juga berterimakasih kepada kedua orangtua yang telah mendoakan dan memotivasi saya.

Pustaka

[1] Bain, J., dan Engelhardt, M. (1992). *Introduction to probability and mathematical statistics 2nd edition*. Duxbury. USA.
 [2] Chan, S. H. (2015). *Expectation maximization algorithm*. University PURDUE.
 [3] Bolstad, B.M. (1998). *Comparing some iterative method of parameter estimation for censored gamma data*. The University of Waikato.
 [4] Ehlers, R. (2002). *Maximum likelihood estimation prosedures for categorial data*. University of Pretoria, South Africa.
 [5] Storvik, G. (2011). *Numerical optimization of likelihoods: additiona literature for STK2120*. University of Oslo.

ANALISIS SPASIAL ANOMALI GRAVITASI DI DAERAH MAAR GUNUNG LAMONGAN

SPATIAL ANALYSIS OF GRAVITY ANOMALY OVER MAAR AREA OF LAMONGAN VOLCANIC FIELD

Khafidh Nur Aziz^{1,*}, Jamilatusolikhah¹, Dini Agasti Rini¹, Yanuri Larasati¹,
Bian Itsna Ashfa Al Ashfiya¹

¹Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia, 55222

*email korespondensi: khafidh.na@uny.ac.id

Abstrak

Gunung Lamongan di Jawa Timur memiliki kenampakan geologi yang unik yaitu memiliki *maar* dan *cinder cone*. Keberadaan *maar* dan *cinder cone* tersebut mengindikasikan adanya aktivitas vulkanik yang aktif pada masanya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis spasial anomali gravitasi di daerah *maar* Gunung Lamongan. Dalam penelitian ini digunakan data gravitasi sekunder yaitu data gravitasi GGMplus. Berdasarkan peta anomali residual, *maar* yang terdapat di sisi barat laut Gunung Lamongan menunjukkan pola kemenerusan dengan Gunung Lamongan yang berarah Barat Laut-Tenggara dan mengindikasikan adanya sesar turun.

Kata kunci: GGMplus, Maar, Analisis Spasial, Anomali Residual, Gunung Lamongan

Abstract

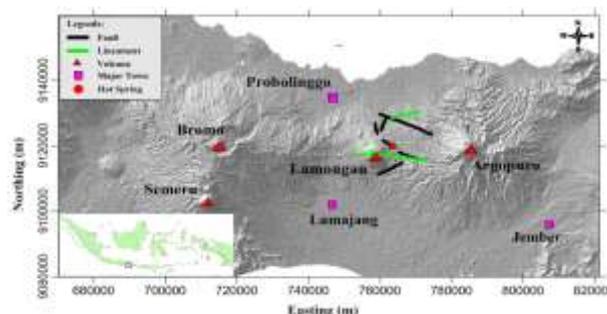
Lamongan Volcano located in East Java has basaltic cinder or spatter cones and maars. The presence of maar and cinder cones indicates active volcanic activity at their time. This research aimed to conduct spatial analysis on gravity anomaly over maar area of Lamongan volcanic field. We used secondary gravity data from GGMplus. Based on residual anomaly map, the maar which is located on the northwest of Lamongan Volcano shows a lineament pattern with Lamongan Volcano which is trending northwest-southeast and the maar indicates a normal fault.

Keywords: GGMplus, Maar, Spatial Analysis, Residual Anomaly, Lamongan Volcano

Pendahuluan

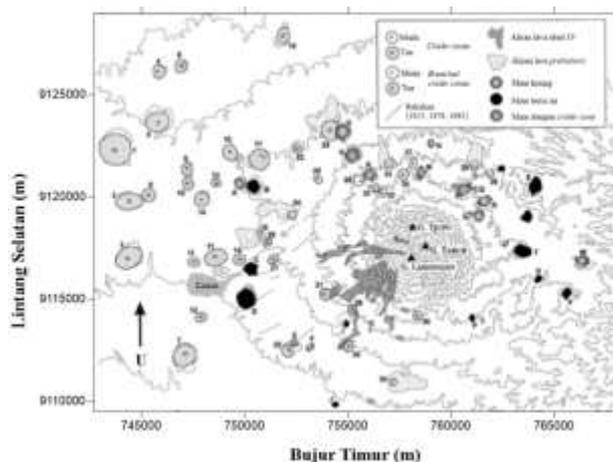
Keberadaan Indonesia yang terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik dunia (Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik) mengakibatkan Indonesia dikelilingi oleh banyak gunung api sebagai aktivitas dari zona subduksi. Daerah dengan banyak gunung api di sekitar zona subduksi disebut dengan *ring of fire* [1]. Di Indonesia, gunung api tersebar dari Sumatera, Jawa, hingga Sulawesi di bagian utara, sehingga Indonesia memiliki banyak gunung api aktif.

Gunung Lamongan ($7,983^{\circ}$ LS, $113,342^{\circ}$ BT, dan 1651 mdpl) merupakan salah satu gunung berapi aktif yang terdapat di Jawa Timur. Gunung Lamongan merupakan salah satu gunung berapi aktif di Indonesia dan aktivitas seismik terus berlangsung sejak saat itu (letusan terakhir tahun 1898) [2]. Selain itu, Gunung Lamongan juga terletak di antara tiga kompleks gunung berapi lainnya, yaitu Bromo, Semeru, dan Argopuro (Gambar 1).



Gambar 1. Daerah lokasi Gunung Lamongan di Jawa Timur yang terletak diantara Gunung Bromo, Semeru, dan Argopuro

Gunung Lamongan yang memiliki ketinggian 1651 mdpl juga termasuk gunungapi yang sudah tidak aktif lagi dan memiliki kenampakan geologi yang unik yaitu memiliki *maar* dan *cinder cone*. *Maar* dan *cinder cone* tersebut mengindikasikan adanya aktivitas magmatik yang terjadi di sekitar Gunung Lamongan dan memiliki pola kemenerusan terhadap Gunung Lamongan [2,3].



Gambar 2. Peta sebaran *maar* dan *cinder cone* [2]

Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis spasial dan mengidentifikasi struktur bawah permukaan adalah geofisika. Geofisika dapat digunakan untuk keperluan eksplorasi, mitigasi bencana, dan lingkungan [4]. Metode geofisika yang cocok untuk menganalisis secara spasial pola kemenerusan *maar* adalah metode gravitasi. Metode gravitasi adalah metode geofisika pasif yang sensitif terhadap variasi percepatan gravitasi bumi yang diakibatkan perbedaan densitas batuan [5]. Jadi, tujuan penelitian ini untuk menganalisis spasial anomali gravitasi di daerah *maar* Gunung Lamongan.

Saat ini, pengukuran data gravitasi tidak hanya dilakukan di darat, laut, dan udara, namun pengukuran juga dilakukan dengan satelit yang dilengkapi dengan posisi titik data di permukaan bumi. Beberapa satelit gravitasi di antaranya adalah *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE), *Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer* (GOCE), dan TOPEX/POSEIDON [6,7,8]. Dalam penelitian ini, data gravitasi yang digunakan adalah data gravitasi sekunder dari *Global Gravity Model plus* (GGMplus). Data gravitasi GGMplus memberikan gambaran lengkap tentang gravitasi bumi beresolusi tinggi dengan menyediakan data gravitasi yang mencakup keseluruhan benua termasuk zona pesisir dalam $\pm 60^\circ$ lintang, berbentuk grid dan memiliki spasi antar titik ~ 220 m sehingga cocok untuk survei detail di darat [9].

Metode Penelitian

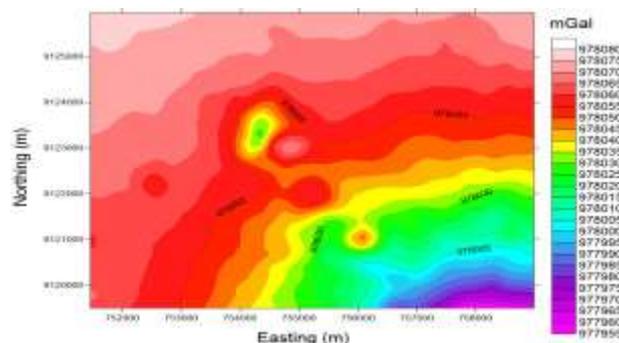
Data utama yang digunakan adalah data gravitasi GGMplus berbentuk grid dan memiliki spasi antar titik ~ 220 m yang dapat diunduh di <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus/>. Selain itu, digunakan juga data dukung berupa peta topografi yang dapat diunduh di

<http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/ERTM2160/data/> dan *Digital Elevation Model* (DEM) yang dapat diunduh di <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Instrumen utama penelitian ini berupa perangkat lunak *Matlab* untuk mengekstrak data gravitasi dan topografi GGMplus, *Global Mapper* untuk membuat input pengolahan data gravitasi, *OASIS Montaj* untuk mengolah data gravitasi dan *Surfer* untuk menampilkan kontur anomali gravitasi. Data yang diunduh dari GGMplus masih berupa data matriks berukuran $5^\circ \times 5^\circ$, sehingga perlu mengekstrak data GGMplus sesuai dengan luas area penelitian. Pada data percepatan gravitasi hasil ekstraksi dilakukan reduksi data gravitasi menggunakan koreksi gravitasi normal di permukaan, koreksi Bouguer dan koreksi *terrain* untuk mendapatkan Anomali Bouguer Lengkap (ABL). ABL dipisahkan menjadi anomali regional menggunakan kontinuitas ke atas dan dikurangi untuk menghasilkan anomali residual. Analisis spasial dilakukan pada anomali residual.

Hasil dan Diskusi

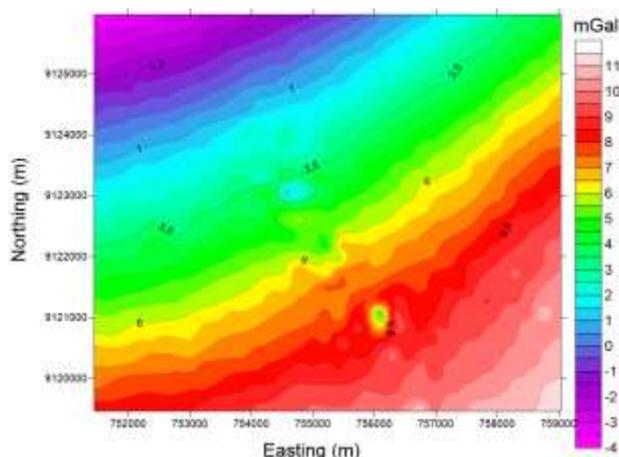
Respon nilai percepatan gravitasi berkisar dari -20 mGal hingga 380 mGal seperti yang ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Peta kontur percepatan gravitasi di daerah penelitian

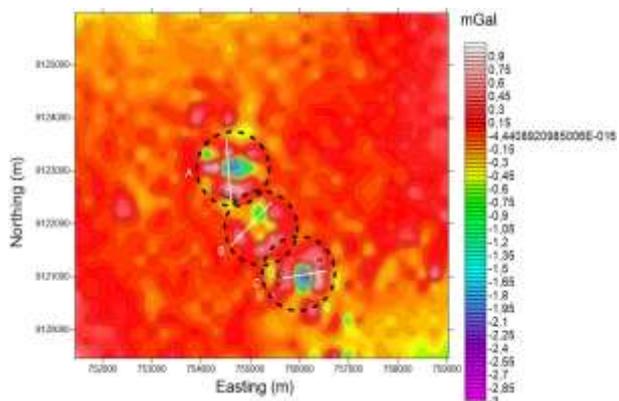
Gambar 3 menunjukkan nilai percepatan gravitasi GGMplus di daerah penelitian memiliki nilai 977.955-978.080 mGal. Nilai percepatan gravitasi rendah ditunjukkan dengan warna ungu merepresentasikan topografi tinggi dan nilai percepatan gravitasi tinggi ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan topografi rendah. Hal ini bersesuaian dengan konsep gravitasi Newton yang menyatakan nilai percepatan gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Semakin tinggi ketinggian titik data, maka semakin kecil nilai percepatan gravitasi di titik tersebut dan semakin rendah ketinggian titik data maka semakin besar nilai percepatan gravitasi di titik tersebut.

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai ABL di daerah penelitian berkisar antara -4 mGal hingga 11 mGal. Nilai anomali tinggi yang ditunjukkan dengan warna merah membentuk pola yang merepresentasikan keberadaan Gunung Lamongan yang berada di sisi tenggara daerah penelitian. Terdapat klosur-klosur anomali tinggi yang mengelilingi anomali rendah yang berada di barat laut Gunung Lamongan yang merepresentasikan keberadaan *maar*.



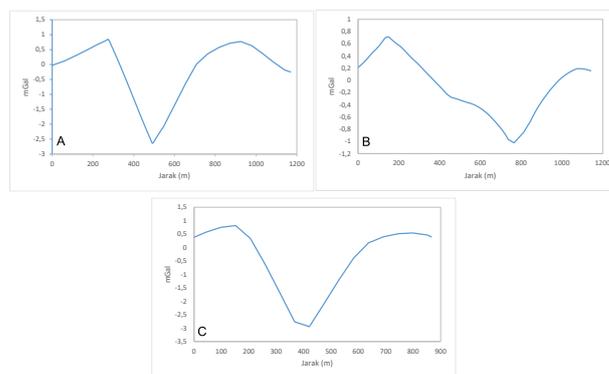
Gambar 4. Kontur Anomali Bouguer Lengkap (ABL) di daerah penelitian

Berdasarkan Gambar 5, anomali residual di daerah penelitian berkisar antara -3 mGal hingga 0,9 mGal. Anomali pada kontur anomali residual diakibatkan oleh sumber anomali yang dekat dengan permukaan. Pada Gambar 5, keberadaan *maar* yang ada di sisi barat laut Gunung Lamongan tampak jelas yang ditandai dengan tiga lingkaran garis putus-putus. Tampak klosur anomali tinggi yang mengelilingi anomali rendah. *Maar* tersebut juga membentuk pola kemenerusan dengan Gunung Lamongan yaitu berarah Barat Laut-Tenggara. Keberadaan *maar* di sini juga mengindikasikan adanya sesar turun.



Gambar 5. Kontur anomali residual di daerah penelitian

Pada Gambar 5 dilakukan tiga buah sayatan pada masing-masing *maar* (sayatan A, B, dan C). Ketiga sayatan tersebut menunjukkan hasil (seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6) bahwa bagian cekungan *maar* menunjukkan nilai anomali yang rendah dan bagian atas yang mengelilinginya memiliki anomali yang tinggi dibanding pada cekungan. Hal ini mengindikasikan adanya zona lemah yang berkorelasi dengan bentuk *maar*.



Gambar 6. Grafik sayatan melintang pada daerah *maar* yang menunjukkan bahwa daerah cekungan memiliki anomali rendah dan bagian atas berupa endapan piroklastik memiliki anomali yang lebih tinggi dibanding cekungan

Simpulan

Berdasarkan peta kontur anomali residual, secara spasial *maar* yang terdapat di sisi barat laut Gunung Lamongan menunjukkan pola kemenerusan dengan Gunung Lamongan yang berarah Barat Laut-Tenggara dan mengindikasikan adanya sesar turun.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada FMIPA UNY untuk pendanaan penelitian. Kami berterima kasih kepada *Western Australian Geodesy Group, Curtin University* yang menyediakan data gravitasi yang digunakan dalam penelitian ini. Kami juga ingin berterima kasih kepada pengulas anonim untuk saran dan komentar pentingnya.

Pustaka

[1] Plummer, et al. (2016) *Physical geology 15th Edition*. Mc Graw Hill.
 [2] Carn, S.A., (2000) The Lamongan volcanic field, East Java, Indonesia: Physical volcanology, historic activity and hazards, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 95(1), 81-108.
 [3] Aziz, K. N., Hartantyo, E., & Niasari, S. W. (2018). The study of fault lineament pattern

- of the Lamongan volcanic field using gravity data. *Journal of Physics: Conference Series*, 1011(1), 1256-1261.
- [4] Sismanto. (2011). Geofisika bagian dari geosains dalam eksplorasi sumber daya alam. *Prosiding, Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY*. UNSOED.
- [5] Dentith, M., & Mudge, S. T. (2014). *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge University Press.
- [6] Fu, L. L., Christensen, E. J., Yamarone, Jr., C. A., Lefebvre, M., Menard, Y., Dorrer, M., & Escudier, P. (1994). Topex/poseidon mission overview. *Journal of Geophysical Research*, 99(12), 369-381.
- [7] Johannessen, J. (1999). Gravity field and steady-state ocean circulation mission, reports for mission selection, the four candidate earth explorer core missions. *European Space Agency (ESA)*, Paris.
- [8] Tapley, B. D., Bettadpur, S., Watkins, M., & Reigber, C. (2004). The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophysical Research Letter*, 31(2), 45-54.
- [9] Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. (2013). New ultra-high resolution picture of earth's gravity field. *Geophysical Research Letters*, 40 (2), 78-86.

EKSPLORASI, SELEKSI DAN IDENTIFIKASI KANDIDAT BAKTERI SELULOLITIK ASAL EKOSISTEM MANGROVE SUNGAILIAT, PULAU BANGKA

EXPLORATION, SELECTION AND IDENTIFICATION THE CANDIDATE OF CELLULOLYTIC BACTERIA FROM MANGROVE ECOSYSTEM IN SUNGAILIAT, BANGKA ISLAND

Liza Janatul Khulud¹, Dwi Febrianti², Eva Prasetyono³, Robin³, Ardiansyah Kurniawan^{3,*}

¹Program Studi Magister Bioteknologi, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung

²Pusat Penelitian Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Cibinong

³Jurusan Akuakultur, Fakultas Pertanian Perikanan dan Biologi, Universitas Bangka Belitung

* email korespondensi: ardian_turen@yahoo.co.id

Abstrak

Mangrove memiliki potensi sebagai sumber bakteri pendegradasi selulosa. Pulau Bangka, yang kaya mineral timah, belum dikaji potensi bakteri selulolitiknya. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan kandidat bakteri selulolitik melalui seleksi isolat dari serasah daun lapuk, kayu lapuk, dan lumpur mangrove, serta mengevaluasi patogenisitas kandidat bakteri selulolitik melalui uji patogenisitas secara *in vivo*. Penelitian terlaksana pada bulan Januari sampai dengan April 2018. Materi uji yang digunakan pada penelitian ini adalah kandidat bakteri selulolitik yang diisolasi dari lumpur, serasah daun dan kayu lapuk dari tumbuhan mangrove dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Metode penelitian yang digunakan yaitu metode deskriptif dan eksperimental. Metode deskriptif digunakan pada pengujian bakteri secara *in vitro*, pengamatan gejala klinis ikan dan kondisi organ dalam ikan setelah diberi perlakuan. Metode eksperimental digunakan pada uji patogenisitas untuk pengamatan parameter kelangsungan hidup. Perlakuan yang diberikan pada ikan uji meliputi injeksi dengan kandidat bakteri selulolitik, injeksi dengan NaCl dan tanpa injeksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolasi dan seleksi kandidat bakteri selulolitik didapatkan sebanyak empat belas isolat. Isolat kandidat bakteri selulolitik yang memiliki aktivitas selulolitik terbaik yaitu isolat bakteri yang berasal dari serasah daun mangrove dengan kode isolat SLS5. Berdasarkan uji biokimia, isolat bakteri SLS5 tersebut teridentifikasi sebagai *Bacillus sp.* Pengujian patogenisitas bakteri SLS5 membuktikan bahwa bakteri ini bersifat non-patogen (tidak menyebabkan sakit dan kematian) pada ikan Nila.

Kata kunci: Pendegradasi selulosa, Patogenisitas, *Bacillus sp.*, Ikan Nila.

Abstract

Mangroves have potential as a source of cellulose-degrading bacteria. Bangka Island, which is rich in tin minerals, has not yet studied the potential for cellulolytic bacteria. This study aims to obtain cellulolytic bacterial candidates by selecting isolates from mud, leaf litter, and mangrove rotting wood and evaluating the pathogenicity properties of cellulolytic bacteria candidates through *in vivo* pathogenicity tests. The research was carried out from January to April 2018. The test materials used in this study were candidate cellulolytic bacteria isolated from mud, leaf litter, and weathered wood from mangrove plants and tilapia (*Oreochromis niloticus*). The research method used is descriptive and experimental methods. The descriptive method was used in *in vitro* bacterial testing, observing the clinical symptoms of fish and the condition of the internal organs of the fish after being treated. The experimental method was used in the pathogenicity test to observe the survival parameters. The treatments given to the test fish included injection with cellulolytic bacterial candidates, injection with NaCl, and without injection. The results showed that candidate cellulolytic bacteria's isolation and selection were obtained as many as fourteen isolates. Candidate isolates for cellulolytic bacteria with the best cellulolytic activity are bacterial isolates derived from mangrove leaf litter with isolate code SLS5. Based on biochemical tests, the SLS5 bacterial isolate was identified as *Bacillus sp.* The pathogenicity test of SLS5 bacteria proves that these bacteria are non-pathogenic (do not cause illness and death) in Tilapia.

Keywords: Cellulose degradation, pathogenicity, *Bacillus sp.*, Tilapia.

Pendahuluan

Harga pakan ikan menjadi kendala dalam perkembangan akuakultur. Pakan memberikan kontribusi terbesar pada biaya produksi budidaya ikan hingga 60% [1]. Penekanan biaya pakan dapat menurunkan biaya produksi yang berkorelasi

terhadap meningkatnya kesejahteraan pelaku usaha akuakultur. Salah satu cara yang ditempuh dengan mensubstitusi bahan alternatif yang mudah diperoleh, tidak bersaing dengan kebutuhan manusia, memiliki nilai ekonomis rendah, dan tersedia sepanjang waktu. Limbah organik dari produk hasil perkebunan dan pertanian dapat

dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku alternatif untuk pakan ikan. Indonesia memiliki limbah organik yang melimpah yang memiliki energi dan nitrogen tinggi dari sisa produksi kedelai, kelapa sawit, kakao, padi, dan jagung [2]. Kendala pemanfaatan bahan baku pakan ikan adalah tingginya kandungan selulosa yang menghambat pertumbuhan ikan karena minimnya nutrisi yang dapat dimanfaatkan. Ikan memiliki keterbatasan dalam memanfaatkan serat karena keterbatasan enzim selulase dalam saluran pencernaannya. Serat menyebabkan pakan hanya transit dalam waktu singkat dalam saluran pencernaan sehingga absorpsi pakan tersebut dalam usus menjadi berkurang [3].

Bakteri selulolitik mampu menghasilkan enzim selulase yang berfungsi merombak selulosa menjadi gula sederhana. Bakteri ini berpeluang dimanfaatkan sebagai predigest untuk menghidrolisis selulosa dalam bahan pakan nabati sebagaimana telah dilakukan pada tepung daun Lamtoro dan Onggok [4,5], Bakteri pendegradasi selulosa banyak diisolasi dan dikarakterisasi dari berbagai sumber seperti tanah busuk, kompos, dan rumen ruminansia [6,7,8]. Potensi bakteri selulolitik alam terdapat di ekosistem mangrove [9]. Serasah daun, kayu lapuk, dan lumpur mangrove kaya bahan organik dari peran bakteri selulolitik [10, 11]. Proses dekomposisi serasah mangrove mencakup penguraian komponen selulosa oleh mikroorganisme, khususnya bakteri selulolitik. Hutan mangrove merupakan tempat berkembangnya komunitas bakteri [12].

Selulosa yang terdapat dalam bahan organik mangrove dapat menjadi energi bagi organisme lain dengan adanya peran bakteri selulolitik. Kemampuan hidrolisis selulosa kompleks menjadi oligosakarida sederhana oleh bakteri selulolitik yang menggunakan enzim selulasenya untuk menghasilkan glukosa [2]. Pulau Bangka yang lebih dikenal dengan kekayaan mineral timah, memiliki mangrove di sekeliling pulauanya. Kajian bakteri selulolitik dan potensinya sebagai kandidat pendegradasi selulosa alami perlu dilakukan di mangrove-mangrove pulau Bangka untuk melengkapi kajian sejenis di Indonesia. Kandidat bakteri selulolitik dari serasah daun, kayu lapuk dan lumpur mangrove dapat menjadi landasan pemanfaatan bakteri selulolitik mendegradasi selulosa untuk kebutuhan pakan ikan.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi dua metode, yaitu metode deskriptif dan eksperimental. Metode deskriptif digunakan pada

penelitian tahap pertama yaitu pengujian secara in vitro. Pada penelitian tahap dua yang menguji patogenisitas isolat bakteri menggunakan metode deskriptif untuk mengamati gejala klinis dan organ dalam ikan, serta metode eksperimental untuk pengamatan parameter kelangsungan hidup. Uji in vitro meliputi pengambilan sampel, isolasi bakteri dari serasah daun lapuk, kayu lapuk dan tanah lumpur mangrove, karakterisasi morfologi isolat bakteri, uji aktivitas selulolitik dan identifikasi secara biokimia. Sampel serasah daun, kayu lapuk, dan lumpur mangrove diambil dari mangrove di Kecamatan Sungailiat (Gambar 1).

Bakteri dalam sampel dari mangrove ditumbuhkan dalam media selektif dengan *Carboxymethyl Cellulosa* (CMC) 1%. Koloni yang tumbuh diisolasi dan diamati secara makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan makroskopis meliputi morfologi koloni seperti bentuk, tepi, elevasi, warna koloni, dan uji akritisitas enzim selulase. Pengujian daya enzim selulase memanfaatkan CMC 1% yang difortifikasikan dalam media agar. Satu goresan isolat diinkubasikan dalam media kultur selama 3x24 jam. *Congo red* digunakan untuk memvisualisasikan daya degradasi enzim terhadap selulosa menggunakan. Zona bening di sekitar koloni akan mudah terlihat saat ditambahkan *congo red*. Indeks aktifitas selulase dihitung menggunakan persamaan (1) berikut.

$$IS = \frac{X1-X2}{X2} \quad (1)$$

IS adalah Indeks aktivitas selulase, X1 merupakan nilai rerata diameter zona bening (mm) dan X2 adalah rerata diameter koloni (mm) [13].

Pengamatan secara mikroskopis dilakukan dengan mengamati morfologi dan warna sel, serta pengamatan terhadap hasil uji pewarnaan Gram, uji katalase, uji oksidase, uji motilitas, dan uji oksidatif/fermentatif (O/F). Parameter lain yang juga diamati pada uji in vitro pada penelitian ini adalah indeks selulolitik berdasarkan pengamatan zona bening yang terbentuk pada media uji. Kandidat bakteri selulolitik yang terpilih dari uji in vitro kemudian dilanjutkan pada pengujian patogenisitas (*in vivo*). Uji ini bertujuan agar dapat diketahui respon ikan terhadap isolat. Satu goresan isolat kandidat bakteri selulolitik dikultur dalam 10 mL media cair *Nutrient Broth* (NB). Inkubasi media kultur selama 24 jam dalam suhu 25°C. Proses mutasi spontan melalui penumbuhan bakteri hasil kultur pada media NA yang ditambahkan rifampisin 50 µg/mL (NA+Rf). Mutasi spontan bermanfaat agar jenis bakteri yang berperan dan bertahan di tubuh ikan merupakan bakteri yang diujikan [14].

Inokulum bakteri yang telah dimutankan sebanyak 0,1 ml dalam kepadatan 10^8 CFU/ml disuntikkan ke ikan Nila. Uji patogenisitas dilakukan menggunakan metode eksperimental berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL) tunggal 3 ulangan dengan tiga perlakuan yang diberikan pada ikan uji, yaitu injeksi dengan bakteri kandidat selulolitik, injeksi dengan NaCl dan tanpa injeksi. Ikan diamati gejala klinis, tingkah laku dan tingkat kematiannya selama 14 hari. Pada akhir pemeliharaan dilakukan pembedahan untuk mengamati tampilan organ dalam yaitu hati, ginjal, dan empedu [15]. Kelangsungan hidup ikan diamati sebagai variabel kuantitatif dengan persamaan ikan yang bertahan hidup dibandingkan dengan jumlah ikan awal [16].

$$SR (\%) = \frac{No - Nt}{No} \times 100 \quad (2)$$

No merupakan jumlah ikan diawal penelitian dan Nt sebagai jumlah ikan yang bertahan hidup diakhir penelitian.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan Uji ANOVA RAL tunggal untuk mengevaluasi penelitian apakah pengaruh perlakuan bakteri selulolitik kandidat probiotik berbeda nyata atau tidak terhadap SR pada uji patogenisitas dan uji in vitro. Data hasil uji ditabulasi menggunakan program Microsoft Excel 2010 dan ditampilkan menggunakan tabel. Data hasil isolasi, identifikasi dan pengamatan pada uji in vitro kandidat bakteri selulolitik dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel.



Gambar 1. Lokasi sampling serasah daun, kayu lapuk, dan lumpur mangrove di Sungailiat, Bangka

Hasil dan Diskusi

Sampel serasah daun (SLS) dan kayu lapuk (SLK) mangrove menghasilkan masing-masing 5 isolat bakteri dan sampel lumpur (SLL) mendapatkan 4 isolat bakteri. Isolat ini merupakan bakteri yang mampu memanfaatkan CMC 1% dalam media tumbuh dan diprediksi memiliki kemampuan mendegradasi selulosa. Karakter morfologi koloni bakteri pada warna, bentuk, tepian, elevasi dan tampilannya beragam (Tabel 1). Sebagian besar isolat memiliki karakteristik berwarna krem, berbentuk bulat, tepian bergerigi, elevasi sedikit menonjol dan tampilan koloni tampak kabur. Pada uji pewarnaan Gram, hanya ada dua isolat yang merupakan bakteri Gram positif yaitu SLK 3 dan SLS5 (Tabel 2).

Isolat lainnya merupakan gram negatif dengan ciri bentuk bulat dan berwarna merah muda. Pada pengujian daya degradasi selulosa, terdapat empat isolat yang memiliki kemampuan mendegradasi selulosa yaitu SLK3, SLL2, SLL3, dan SLS 5 (Tabel 3). Keberadaan enzim ekstraseluler berupa selulase merupakan salah satu kriteria yang harus dimiliki kandidat bakteri selulolitik yang ditujukan untuk mendukung proses degradasi selulosa pada pakan yang sulit dicerna oleh ikan.

Tabel 1. Karakter morfologi koloni isolat bakteri yang diisolasi dari mangrove Sungailiat.

Kode Isolat	Karakter morfologi koloni isolat bakteri					
	Warna	Bentuk	Ukuran	Tepian	Elevasi	Tampilan
SLK1	Krem	Bulat berawan	Titik	Bergerigi	Menonjol sedikit	Kabur, berawan
SLK2	Krem	Bulat	Titik	Rata	Datar	Kabur
SLK3	Krem	Bulat	Besar	Bergerigi	Menonjol sedikit	Kabur
SLK4	Krem	Bulat	Sedang	Bergerigi	Menonjol sedikit	Kabur
SLK5	Putih transparan	Bulat	Sedang	Rata	Menonjol sedikit	Sedikit transparan
SLL1	Putih pekat	Bulat	Titik	Rata	Datar	Kabur
SLL2	Krem	Bulat	Besar	Bergerigi	Menonjol sedikit	Kabur
SLL3	Krem	Bulat berawan	Kecil	Bergerigi	Menonjol sedikit	Kabur
SLL4	Krem	Bulat	Kecil	Bergerigi	Menonjol sedikit	Putih pekat
SLS1	Krem	Bulat berawan	Kecil	Bergerigi	Menonjol sedikit	Tepian transparan
SLS2	Krem	Bulat	Besar	Bergerigi	Menonjol sedikit	Kabur
SLS3	Krem	Bulat	Titik	Rata	Datar	Kabur
SLS4	Putih bening	Tidak beraturan	Besar	Tidak beraturan	Datar	Transparan
SLS5	Krem	Bulat	Kecil	Rata	Menonjol sedikit	Sedikit transparan

Keterangan: SLK = Isolat dari kayu lapuk ; SLL = Isolat dari lumpur mangrove; SLS = Isolat dari serasah daun mangrove.

Tabel 2. Hasil pewarnaan Gram

Kode isolat	Bentuk sel	Warna	Jenis Gram
SLK1	Bulat	Merah muda	Negatif
SLK2	Bulat	Merah muda	Negatif
SLK3	Batang	Ungu	Positif
SLK4	Bulat	Merah muda	Negatif
SLK5	Bulat	Merah	Negatif
SLL1	Bulat	Merah muda	Negatif
SLL2	Bulat	Merah muda	Negatif
SLL3	Bulat	Merah	Negatif
SLL4	Bulat	Merah	Negatif
SLS1	Bulat	Merah muda	Negatif
SLS2	Bulat	Merah muda	Negatif
SLS3	Bulat	Merah muda	Negatif
SLS4	Bulat	Merah muda	Negatif
SLS5	Batang	Ungu	Positif

Tabel 3. Hasil pengujian aktivitas selulolitik

Kode Isolat	Aktivitas selulolitik	Indeks selulolitik (IS)	Klasifikasi nilai IS
SLK1	-	-	-
SLK2	-	-	-
SLK3	+	-	-
SLK4	-	-	-
SLK5	-	-	-
SLL1	-	-	-
SLL2	+	-	-
SLL3	+	-	-
SLL4	-	-	-
SLS1	-	-	-
SLS2	-	-	-
SLS3	-	-	-
SLS4	-	-	-
SLS5	+	0,63	Rendah

Keterangan: (+) ada dan (-) tidak ada aktivitas selulolitik

Sebagian besar isolat menunjukkan aktifitas selulolitik negatif dengan tidak munculnya zona bening disekitar koloni. Terbentuknya zona bening pada uji aktivitas selulolitik menunjukkan bahwa keempat isolat tersebut mampu mendegradasi selulosa dari CMC [15]. Degradasi selulosa akibat aktifitas enzim selulase memunculkan zona bening di sekitar koloni bakteri [10]. Indeks terbesar dalam mendegradasi selulosanya adalah pada isolat SLS5 dengan nilai sebesar 0,63. Nilai tersebut dalam kategori Indeks Selulolitik rendah. Daya degradasi selulosa oleh bakteri dikategorikan rendah jika nilai indeks selulolitiknya ≤ 1 [17]. Berdasarkan hasil karakterisasi morfologi koloni, pewarnaan gram dan aktifitas selulolitiknya, isolat SLS5 memiliki kemungkinan dijadikan kandidat bakteri selulolitik dibandingkan isolat lainnya. Bakteri patogen di alam umumnya merupakan bakteri Gram negatif [18]. Meski demikian bakteri gram positif juga tidak menjamin tidak bersifat patogen. Terdapat beberapa spesies bakteri patogen yang memiliki sifat Gram positif [19].

Pemastian patogenitas isolat bakteri dilakukan dengan mengujikannya pada hewan uji. Isolat SLS 5 disuntikkan ke hewan uji yaitu ikan Nila dan dibandingkan dengan ikan tanpa terdedar isolat bakteri SLS5. *Survival rate* menunjukkan tidak adanya perbedaan antara ikan yang diinjeksi isolat bakteri SLS5 dengan ikan tanpa injeksi dan diinjeksi NaCl. Notasi yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata (Tabel 4). Jumlah kematian ikan yang diinjeksi adalah sama,

sedangkan ikan tanpa perlakuan mengalami kematian yang lebih banyak. Hal ini menunjukkan kematian ikan bukan disebabkan oleh penyakit yang diakibatkan oleh isolat bakteri SLS5.

Tabel 4. Kelangsungan hidup atau *survival rate* ikan nila selama 14 hari pemeliharaan

Perlakuan	SR
Diinjeksi dengan isolat SLS 5	66,67% \pm 0
Diinjeksi dengan NaCl	66,67% \pm 0
Tidak diinjeksi	44,33% \pm 0

Nafsu makan ikan setelah penyuntikan mengalami penurunan, namun tidak terjadi perbedaan antara ikan yang diinjeksi isolat bakteri dengan injeksi dengan NaCl 0.9%. Kedua perlakuan menunjukkan nafsu makan normal pada hari ke empat setelah penyuntikan. Perbedaan terjadi pada tampilan visual empedu dan hati. Empedu ikan yang diinjeksi isolat bakteri tampak lebih gelap warnanya dibandingkan perlakuan lainnya, sedangkan warna hati lebih pucat. Warna ginjal memiliki kesamaan dengan ikan pada perlakuan NaCl 0.9% (Tabel 5). Pada organ luar ikan seperti mata, sirip, sisik dan kulit' tidak ditemukan perubahan makroskopis selama pengamatan pasca injeksi baik perlakuan isolat maupun NaCl 0.9%. Hal berbeda jika yang disuntikkan adalah bakteri patogen, umumnya akan muncul tanda luka pada tubuh ikan [20].

Tabel 5. Gejala klinis pasca injeksi dan kondisi organ dalam ikan pada akhir waktu pemeliharaan

Jenis perlakuan	Kondisi organ dalam hari ke-14			Gejala klinis
	Empedu	Hati	Ginjal	
Diinjeksi dengan isolat SLS5	Hijau pekat	Coklat pucat	Merah	Nafsu makan rendah hingga hari ke-4 setelah perlakuan
Diinjeksi dengan NaCl 0.9%	Hijau	Coklat	Merah	
Tidak diinjeksi	Hijau bening	Coklat	Merah pekat	

Tabel 6. Hasil uji biokimia isolat SLS5

Jenis pengujian	Hasil uji	Jenis pengujian	Hasil uji
Pewarnaan gram	+	LIA	+
Motilitas	-	Citrat	-
Katalase	+	MR	-
Oksidase	+	VP	-
TSIA	K/A	Gelatin	+
Glukosa	+	Urease	-
OF	F	Eskulin	-
Ornithin	-	H ₂ S	-

Keterangan: (+) = hasil uji positif, (-) = hasil uji negatif, K/A = Kalis/asam, OF = Oksidatif fermentatif, F= Fermentatif

Uji biokimia pada isolat SLS5 memprediksi bahwa bakteri tersebut memiliki kemiripan karakter dengan *Bacillus* sp. Isolat menunjukkan nilai positif pada karakter pewarnaan Gram, katalase, oksidase, glukosa, LIA, dan gelatin (Tabel 6). Genus *Bacillus* memiliki ciri-ciri sebagai sel dengan bentuk batang lurus, sering tersusun berpasangan atau berantai. Sel membentuk endospora oval atau bulat. Kebanyakan sel motil, katalase biasanya dibentuk oleh hampir semua spesies, dan hidup secara aerob atau anaerob fakultatif dan bersifat kemoorganotrofik [21]. Hasil uji patogenitas dan uji biokimia menunjukkan bahwa bakteri SLS5 (*Bacillus* sp) tidak bersifat patogen pada ikan Nila.

Bakteri AQS *Bacillus* sp tidak bersifat patogen pada ikan lele, walaupun diberikan pada dosis yang tinggi (10^{11} sel/ml) (Novita 2015). *Lactobacillus acidophilus* dan *Bacillus subtilis* yang diinjeksikan pada ikan Nila tidak mengakibatkan kematian pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) hingga 2 minggu pemeliharaan [22]. Kualitas air pemeliharaan pada uji patogenitas berada pada kisaran yang layak untuk pemeliharaan ikan nila. Suhu air pemeliharaan ikan selama penelitian berkisar antara 24°-29°C, derajat keasaman air (pH) antara 6,5–8, dan oksigen terlarut (*Dissolve Oxygen*) pada air selama pemeliharaan berkisar antara 3,3-4,2 mg/L. Kualitas air dalam kisaran optimum dalam akuakultur tidak memberikan pengaruh pada perilaku ikan. Perubahan nafsu makan setelah injeksi dapat dipicu oleh stressor yang disebabkan proses penyuntikan [23].

Simpulan

Hasil isolasi dan seleksi bakteri kandidat selulolitik asal kayu lapuk, lumpur dan serasah daun mangrove Sungailiat mendapatkan empat belas isolat. Isolat kandidat bakteri selulolitik yang memiliki aktivitas selulolitik terbaik dengan indeks selulolitik sebesar 0,63 yaitu isolat bakteri yang berasal dari serasah daun mangrove dengan kode isolat SLS5. Hasil uji biokimia menunjukkan isolat bakteri SLS5 sebagai *Bacillus* sp. SLS5 tidak bersifat patogen pada ikan Nila.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas pendanaannya melalui Program Penelitian Kerjasama Perguruan Tinggi (PKPT) tahun 2017-2018 antara Universitas Bangka Belitung dan Universitas Brawijaya.

Daftar Pustaka

- [1] Andriani, Y., Sastrawibawa, S., Safitri, R., & Abun, A. (2012). Isolasi dan identifikasi mikroba selulolitik sebagai biodegradator serat kasar dalam bahan pakan dari limbah pertanian. *Indonesian Journal of Applied Sciences*, 2(3), 100-105.
- [2] Kurniawan, A., Sari, S. P., Asriani, E., Prihanto, A. A., Kurniawan, A., & Sambah A. B. (2019). *Bakteri selulolitik mangrove*. UBB Press.
- [3] Fitriliyani, I. (2010). Peningkatan kualitas tepung daun lamtoro dengan penambahan ekstrak cairan rumen domba (*Ovis aries*) untuk bahan pakan ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Disertasi*. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [4] Bairagi, A., Sarkar Ghosh, K., Sen, S. K., & Ray, A. K. (2004). Evaluation of the nutritive value of *Leucaena leucocephala* leaf meal, inoculated with fish intestinal bacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus circulans* in formulated diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. *Aquaculture Research*, 35(5), 436-446.
- [5] Wizna, H. A., Rizal, Y., Dharma, A., & Kompang, I. P. (2009). Improving the quality of tapioca by-products (onggok) as poultry feed through fermentation by *Bacillus amyloliquefaciens*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(10), 1636-1640.
- [6] Murtiyaningsih, H., & Hazmi, M. (2017). Isolasi dan uji aktivitas enzim selulase pada bakteri selulolitik asal tanah sampah. *Agritrop: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*, 15(2), 17-23.
- [7] Arifin, Z., Gunam, I. B. W., Antara, N. S., & Setiyo, Y. (2019). Isolasi bakteri selulolitik pendegradasi selulosa dari kompos. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 7(1), 30-37.
- [8] Yogyakarta, S. A., Rukmi, M. I., & Raharjo, B. (2016). Ekplorasi bakteri selulolitik dari cairan rumen sapi Peranakan Fries Holland (PFH) dan Limousine Peranakan Ongole (Limpo). *Jurnal Akademika Biologi*, 5(4), 70-80.
- [9] Kurniawan, A., Febrianti, D., Sari, S. P., Prihanto, A. A., Asriani, E., Kurniawan, A., & Sambah, A. B. (2018). Isolasi dan identifikasi bakteri pendegradasi selulosa asal ekosistem mangrove Tukak Sadai,

- Bangka Selatan. *Jurnal Perikanan Pantura (JPP)*, 1(2), 9-16.
- [10] Kurniawan, A., Sari, S. P., Asriani, E., Kurniawan, A., Sambah, A. B., Triswiyana, I., & Prihanto, A. A. (2019). Kapasitas hidrolisis bakteri pendegradasi selulosa dari ekosistem mangrove. *Journal of Tropical Marine Science*, 2(2), 76-82.
- [11] Kurniawan, A. (2018). Bakteri selulolitik pada kayu lapuk di Mangrove Sungailiat, Bangka dan Tukak Sadai, Bangka Selatan. In *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 3, No. 1).
- [12] Kurniawan, A., Prihanto, A. A., Puspitasari, S., Kurniawan, A., Asriani, E., & Sambah, A. B. (2018). Cellulolytic bacteria mangrove leaf litter in Bangka Island. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 9(1), 6-11.
- [13] Lim, G., Tan, T. K., & Rahim, N. A. (1987). Variations in amylase and protease activities among Rhizopus isolates. *MIRCEN Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 3(3), 319-322.
- [14] Widanarni, W., Sukenda, S., & Setiawati, M. (2008). Bakteri probiotik dalam budidaya udang: Seleksi, mekanisme aksi, karakterisasi, dan aplikasinya sebagai agen biokontrol. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 13(2), 80-89.
- [15] Dewi, Y., Robin, R., Prasetyono, E., & Kurniawan, A. (2020). Aktifitas selulolitik dan Patogenisitas Bacillus cereus_TSS4 dari serasah daun mangrove. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 9(1), 8-17.
- [16] Muchlisin, Z. A., Afrido, F., Murda, T., Fadli, N., Muhammadar, A. A., Jalil, Z., & Yulvizar, C. (2016). The effectiveness of experimental diet with varying levels of papain on the growth performance, survival rate and feed utilization of keureling fish (Tor tambra). *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 8(2), 172-177.
- [17] Choi, Y. W., Hodgkiss, I. J., & Hyde, K. D. (2005). Enzyme production by endophytes of Brucea javanica. *Journal of Agricultural Technology*, 1(2), 55-66.
- [18] Rahmaningsih, S., Wilis, S., & Mulyana, A. (2017). Bakteri patogen dari perairan pantai dan kawasan tambak di Kecamatan Jenu Kabupaten Tuban. *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 12(1), 1-5.
- [19] Huda, M. (2017). Pengaruh madu terhadap pertumbuhan bakteri gram positif (staphylococcus aureus) dan bakteri gram negatif (escherichia coli). *Jurnal Analisis Kesehatan*, 2(2), 250-259.
- [20] Kurniawan, A., & Jumita, D. N. (2019). Fortified feed of avocado (Persea americana) leaf extract for septicemia motile aeromonad disease prevention in catfish. *Scripta Biologica*.
- [21] Cowan, S. T. (2004). *Cowan and Steel's manual for the identification of medical bacteria*. Cambridge university press.
- [22] Aly, S. M., Abd-El-Rahman, A. M., John, G., & Mohamed, M. F. (2008). Characterization of some bacteria isolated from Oreochromis niloticus and their potential use as probiotics. *Aquaculture*, 277(1-2), 1-6.
- [23] Kurniawan, A., Azhari, M., & Prasetyono, E. (2019). Domestication of Osteochilus spilurus: survival and growth in recirculated water. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 230, No. 1, p. 012116). IOP Publishing.

PENGARUH KONFIGURASI GEOMETRI *BUFFER* RESONATOR TIPE-H TERHADAP INTENSITAS BUNYI

THE EFFECT OF BUFFER GEOMETRY CONFIGURATION ON SOUND INTENSITY IN H-TYPE RESONATOR

R. Yosi Aprian Sari^{1,a)}, Agung Bambang Setio Utomo^{2,b)}, Mitrayana^{2,c)}, Danang Lelono^{3,d)}

¹Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta

²Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada

³Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada

email: ^{a)}ryosia@uny.ac.id, ^{b)}agungbambang@ugm.ac.id, ^{c)}mitrayana@ugm.ac.id, ^{d)}danang@ugm.ac.id

Abstrak

Intensitas bunyi dari perambatan akustik pada resonator tipe-H dipengaruhi oleh konfigurasi saluran *buffer*. Bertambahnya panjang *buffer* tidak lebih berpengaruh terhadap intensitas bunyi dibandingkan dengan perubahan diameter saluran. Hal ini disebabkan adanya *head loss*, yaitu energi gelombang yang datang tidak semuanya ditransmisikan, tapi sebagian dipantulkan sehingga akan mengurangi intensitas bunyi yang ditransmisikan. Efek *head loss* ini terjadi di antaranya berupa gesekan pada sistem saluran dan tumbukan karena sambungan atau diskontinuitas saluran. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi perambatan akustik dalam resonator tipe H menggunakan metode matriks transmisi dan persamaan Bernoulli. Dengan memvariasi panjang dan jari-jari *buffer* diperoleh nilai simulasi dari frekuensi resonansi resonator tipe H tersebut sebesar 1631 Hz.

Kata kunci: resonator tipe-H, perambatan akustik, *buffer*, *head loss*

Abstract

Sound intensity of acoustic propagation in H-type resonator is influenced by buffer duct configuration. Increasing the buffer length has no more effect on sound intensity than changes in duct diameter. This is due to the head loss, which means that not all of the incoming wave energy is transmitted, but partly it is reflected so that it will reduce the intensity of the sound being transmitted. This head loss effect occurs in the form of friction in the duct system and collisions due to duct connections or discontinuities. In this paper, we simulate the acoustic propagation in H-type resonator using transmission matrix method and Bernoulli's equation. By varying the length and radius of the buffer, the simulated value of the resonance frequency of the H-type resonator is 1631 Hz.

Key words: H-type resonator, acoustic propagation, buffer, head loss

Pendahuluan

Sinyal fotoakustik (FA) pada umumnya lemah dan resonator akustik digunakan untuk memperkuat sinyal. Optimasi geometri resonator penting untuk memaksimalkan sinyal FA. Karena belum ada bentuk geometri resonator yang optimal, maka seringkali berbagai bentuk resonator diuji. Secara eksperimental, menguji sejumlah besar bentuk resonator akan sangat memakan waktu dan biaya. Oleh karena itu, metode simulasi numerik lebih disukai [1-3]. Berbagai bentuk resonator, seperti silinder bertipe-H atau tipe-T dan cara mengoperasikan sel FA telah dipelajari. Sel FA untuk *multipas* [4] atau dioperasikan secara *intracavity* [5] telah dirancang bangun.

Efek pemanasan jendela dalam rancangan resonator tertutup telah diminimalkan dengan memperkenalkan konfigurasi *buffer* dekat jendela atau menggunakan kolom udara [6]. Dalam banyak kasus, sinyal pemanasan jendela dapat dikurangi dengan memposisikan pintu masuk dan keluar dari

berkas cahaya pada simpul-simpul ragam yang dibangkitkan [7]. Oleh karena itu, optimasi desain resonator akustik penting dilakukan untuk meningkatkan sensitivitas sistem deteksi gas lacak FA dengan meningkatkan sinyal FA dan mengurangi pengaruh kebisingan latar. Konfigurasi resonator yang sering digunakan adalah silinder karena simetrinya sederhana, yang bertepatan dengan sinar laser yang merambat sepanjang sumbu silinder atau salah satu dari ragamnya. Fitur karakteristik dari resonator silinder berupa ragam longitudinal, azimuthal, dan radial [8].

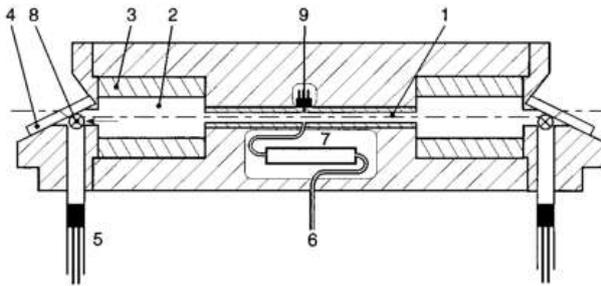
Pemodelan atau simulasi merupakan salah satu cara untuk mendapatkan prediksi sesuatu yang diinginkan. Pengembangan pemodelan dalam masalah ini berkaitan dengan perambatan akustik dalam tiga tabung silinder yang terdang pada satu sumbu sedemikian hingga membentuk suatu sistem yang disebut resonator yang dikenal sebagai resonator tipe-H. Metode pemodelan yang

digunakan dalam perambatan akustik ini adalah Metode Matriks Transmisi (TMM = *Transmission Matrix Method*) yang didasarkan pada prinsip perilaku akustik gelombang bidang.

Setidaknya ada tiga kriteria utama yang dipertimbangan dalam menggunakan metode ini. Pertama, terjadinya pengurangan kebisingan (*noise reduction*, NR), kehilangan sisipan (*insertion loss*, IL), dan kehilangan transmisi (*transmission loss*, TL). Dalam permasalahan ini digunakan TL karena memperhitungkan pengaruh perubahan tampang lintang sewaktu perambatan terjadi. TL ini tidak bergantung pada sumber suara. Selama perambatan akustik terjadi, diasumsikan tidak ada perubahan tekanan dan kecepatan volume di saluran dan di diskontinuitas saluran dari sumber masuk sampai keluar [9]. Sebagian besar perhitungan suara adalah hubungan antara intensitas (dB) dan frekuensi bunyi (Hz). Suara dapat dipengaruhi oleh tekanan, suhu, dan kerapatan medium [10].

Metode Penelitian

Analisis perambatan akustik pada resonator tipe-H merupakan perluasan resonator silinder dengan bagian tengah disebut resonator dan di kedua sisinya diapit silinder yang disebut *buffer* dengan jari a dan c lebih besar daripada resonator dengan jari b . Resonator tipe-H dihubungkan pada diskontinuitas dua saluran koaksial (sesumbu) dan setiap panjangnya adalah l_A , l_B , dan l_C (lihat Gambar 1 dan 2). Sistem koordinat silindris digunakan dengan sumbu z bertepatan dengan sumbu saluran dan asal di bidang diskontinuitas.



Gambar 1 Bentuk resonator Tipe-H. 1. Sel Resonansi Fotoakustik; 2. Volume Buffer; 3. Cincin Buffer untuk mengubah ukuran buffer; 4. Jendela Brewster ZnSe; 5. Kolom Udara; 6. Aliran Gas Masuk; 7. $\lambda/4$ notch filter; 8. Aliran Gas Keluar; 9. Mikrofon [6]

Suara yang dirambatkan dalam fluida di dalam resonator tipe-H akan menghasilkan bentuk gelombang konveksi. Persamaan gelombang konveksi dengan kecepatan aliran seragam W pada arah z adalah [11-12]

$$\nabla^2 p(r, \varphi, z) - \left(ik + M \frac{\partial}{\partial z} \right)^2 p(r, \varphi, z) = 0 \quad (1)$$

dengan $M = W/c_0$ adalah bilangan Mach dari rata-rata aliran (*mean flow*), $k = \omega/c_0$ adalah bilangan gelombang dan c_0 adalah kelajuan suara. Dengan menggunakan metode pemisahan variabel dan syarat batas tertentu, diperoleh penyelesaian umum $p(r, \varphi, z)$ yang masing-masing berkaitan dengan ragam radial, azimuth dan longitudinal,

$$p(r, \varphi, z) = \sum_{n=0}^{\infty} [A_n^+ e^{k_{mn}^+ z} + A_n^- e^{k_{mn}^- z}] e^{-im\varphi} J_m \left(\frac{\pi \alpha_{mn}}{a} r \right) \quad (2)$$

dengan

$$k_{mn}^{\pm} = \frac{iMk_{\pm} \sqrt{(1-M^2) \left(\frac{\pi \alpha_{mn}}{r} \right)^2 - k^2}}{(1-M^2)} \quad (3)$$

dengan J_m adalah fungsi Bessel bentuk pertama, dan α_{mn} adalah akar ke- n dari persamaan yang mengandung fungsi Bessel orde ke- m

Saluran *buffer* dan resonator terganggu satu dengan lainnya sehingga bentuk ragam normal azimuth haruslah ortogonal dan sesumbu serta membentuk sistem resonator tipe-H, $m = 0$. Dengan demikian tekanan dan kecepatan akustik dapat ditulis sebagai berikut [13]

$$p(r, z, \omega) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{\infty} [A_n^+ e^{k_{0n}^+ z} + A_n^- e^{k_{0n}^- z}] J_0 \left(\frac{\pi \alpha_{0n}}{a} r \right); & \begin{cases} 0 \leq z \leq l_A \\ 0 \leq r \leq a \end{cases} \\ \sum_{n'=0}^{\infty} \left[\begin{matrix} B_{n'}^+ e^{k_{0n'}^+(z-l_A)} \\ + B_{n'}^- e^{k_{0n'}^-(z-l_A)} \end{matrix} \right] J_0 \left(\frac{\pi \alpha_{0n'}}{b} r \right); & \begin{cases} l_A \leq z \leq l_A + l_B \\ 0 \leq r \leq b \end{cases} \\ \sum_{n''=0}^{\infty} \left[\begin{matrix} C_{n''}^+ e^{k_{0n''}^+(z-l_A-l_B)} \\ + C_{n''}^- e^{k_{0n''}^-(z-l_A-l_B)} \end{matrix} \right] J_0 \left(\frac{\pi \alpha_{0n''}}{c} r \right); & \begin{cases} l_A + l_B \leq z \leq l_A + l_B + l_C \\ 0 \leq r \leq c \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

dan kecepatan volumenya

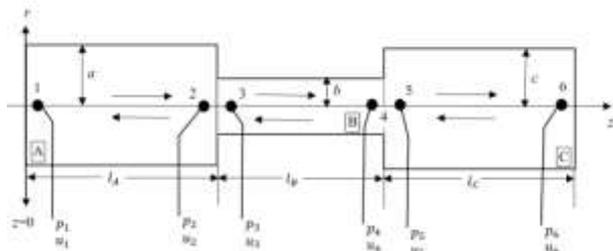
$$Q(r, z, \omega) = \begin{cases} \frac{-S_A}{i\omega\rho_0} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\begin{matrix} k_{0n}^- A_n^- e^{k_{0n}^- z} \\ + k_{0n}^+ A_n^+ e^{k_{0n}^+ z} \end{matrix} \right] J_0 \left(\frac{\pi \alpha_{0n}}{a} r \right); & \begin{cases} 0 \leq z \leq l_A \\ 0 \leq r \leq a \end{cases} \\ \frac{-S_B}{i\omega\rho_0} \sum_{n'=0}^{\infty} \left[\begin{matrix} k_{0n'}^- B_{n'}^- e^{k_{0n'}^-(z-l_A)} \\ + k_{0n'}^+ B_{n'}^+ e^{k_{0n'}^+(z-l_A)} \end{matrix} \right] J_0 \left(\frac{\pi \alpha_{0n'}}{b} r \right); & \begin{cases} l_A \leq z \leq l_A + l_B \\ 0 \leq r \leq b \end{cases} \\ \frac{-S_C}{i\omega\rho_0} \sum_{n''=0}^{\infty} \left[\begin{matrix} k_{0n''}^+ C_{n''}^+ e^{k_{0n''}^+(z-l_A-l_B)} \\ + k_{0n''}^- C_{n''}^- e^{k_{0n''}^-(z-l_A-l_B)} \end{matrix} \right] J_0 \left(\frac{\pi \alpha_{0n''}}{c} r \right); & \begin{cases} l_A + l_B \leq z \leq l_A + l_B + l_C \\ 0 \leq r \leq c \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

Adapun penyelesaian yang berkaitan dengan sistem resonator tipe-H ini dilakukan secara bertahap, yaitu dimulai pada ujung sebelah kiri *buffer* pada $z = 0$, yaitu pada titik (1) kemudian ditransmisikan ke titik (2) dan (3) serta titik (4) dan (5) masing-masing adalah titik-titik diperbatasan diskontinuitas saluran *buffer A* dan resonator *B* serta resonator *B* dan saluran *buffer C*. Kemudian titik (6) adalah titik di ujung sebelah kanan saluran *buffer C* [10], [14].

Perambatan akustik silinder dari titik (1) ke titik (2),

$$\begin{pmatrix} p_A^{(1)} \\ Q_A^{(1)} \end{pmatrix} = e^{\frac{-ikL_A M}{1-M^2}} \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_A^{(2)} \\ Q_A^{(2)} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Dengan cara yang sama juga dari analisa perambatan akustik dapat ditulis dalam bentuk matriks transmisi titik (3) ke titik (4) dan dari titik (5) ke titik (6).



Gambar 2 Analisa penyelesaian resonator tipe-H

Adapun matriks transfer untuk diskontinuitas saluran di titik (2) dan (3) dapat diturunkan menggunakan persamaan Bernoulli. Persamaan ini digunakan dengan mempertimbangkan persamaan gerak di sepanjang garis aliran. Dengan asumsi bahwa tidak ada tegangan geser yang terjadi di sepanjang garis aliran, persamaan Bernoulli menyatakan bahwa *head* total dalam sistem fluida adalah sama di seluruh sistem. *Head* total di sini adalah jumlahan *head* elevasi, *head* tekanan, dan *head* kecepatan. Dalam sistem nyata, tegangan geser ada di dalam fluida dan di sepanjang batas fluida atau sistem. Akibatnya, *head* total dalam sistem fluida tidak konstan, dan persamaan energi mencerminkan kenyataan ini. Persamaan energi sangat mirip dengan persamaan Bernoulli. Persamaan energi yang diasumsikan perambatan tekanan dan kecepatan volume tidak mengalami perubahan memenuhi hukum kontinuitas [15]

$$p_{sA}^{(2)} + \frac{1}{2}\rho(v_A^{(2)})^2 + \rho g z_A^{(2)} = p_{sB}^{(3)} + \frac{1}{2}\rho(v_B^{(3)})^2 + \rho g z_B^{(3)} + \rho g h_e \quad (7)$$

dengan p_s adalah tekanan statis fluida, ρ adalah kerapatan fluida, z adalah tinggi saluran, g adalah percepatan gravitasi, dan h_e adalah *head loss*. *Head loss* merupakan energi potensial yang diubah

menjadi energi kinetik. *Head loss* disebabkan hambatan gesekan sistem saluran, misalkan pada katup, *fitting*, pintu masuk, dan sambungan. Subskrip 1 menunjukkan sisi masuk dan subskrip 2 menunjukkan sisi keluar. Dalam kebanyakan kasus, perbedaan *head* elevasi dapat diabaikan, yaitu $z_A^{(2)} = z_B^{(3)}$. Tekanan stagnasi adalah penjumlahan dari *head* tekanan dan *head* kecepatan, $p = p_s + \frac{1}{2}\rho v^2$. Persamaan (7) tereduksi menjadi

$$p_A^{(2)} = p_B^{(3)} + \rho g h_e \quad (8)$$

Persamaan (7) juga dapat ditulis sebagai fungsi dari koefisien panas yang hilang k_e

$$p_A^{(2)} = p_B^{(3)} + \frac{1}{2} k_e \rho (v_A^{(2)})^2 \quad (9)$$

Istilah kehilangan tekanan dalam persamaan (8) atau persamaan (9) biasanya merupakan fungsi dari volume aliran fluida yang masuk melalui sistem Q , sehingga persamaan (8) dapat ditulis

$$p_A^{(2)} = p_B^{(3)} + R_f Q_A^{(2)} \quad (10)$$

dengan R_f adalah hambatan aliran. Di sisi lain, jumlah aliran yang masuk ke sistem sama dengan jumlah aliran yang keluar dari sistem

$$Q_A^{(2)} = Q_B^{(3)} \quad (11)$$

dan menyusun kembali persamaan (10) dan (11) dalam bentuk matriks, diperoleh

$$\begin{pmatrix} p_A^{(2)} \\ Q_A^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & R_f \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_B^{(3)} \\ Q_B^{(3)} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Dengan membandingkan persamaan (8) dan (10), hambatan aliran terkait *head loss* sebesar

$$R_f(Q) = \frac{\rho g h_e(Q)}{Q} \quad (13)$$

yang merupakan *head loss*, dan sebagai akibat hambatan aliran, bergantung pada aliran. Dengan membandingkan persamaan (9) dan (10) hambatan aliran terkait dengan koefisien kerugian sebesar

$$R_f(Q) = k_e \frac{\rho}{2S^2} |Q| \quad (14)$$

dengan S adalah luas penampang minimum dari masuk/keluar saluran. Koefisien kerugian adalah konstanta yang bergantung pada geometri saluran.

Pada masalah diskontinuitas saluran baik berupa ekspansi maupun kontraksi diperlakukan secara terpisah. Untuk kasus ekspansi, dipertimbangkan aliran stabil di saluran dengan pembesaran secara mendadak. Persamaan energi (8) dapat ditulis dengan mengabaikan perbedaan energi potensial

$$R_f Q = p_A^{(2)} - p_B^{(3)} + \rho \frac{(v_A^{(2)})^2 - (v_B^{(3)})^2}{2} \quad (15)$$

Dengan menerapkan hukum kedua Newton, gaya total yang bekerja pada fluida sama dengan laju kenaikan momentum

$$(p_A^{(2)} - p_B^{(3)}) S_B = \rho Q (v_B^{(3)} - v_A^{(2)}) \quad (16)$$

Substitusi persamaan (16) menjadi persamaan (15) memberi

$$R_f = \rho \frac{v_B^{(3)}(v_B^{(3)} - v_A^{(2)})}{Q} + \rho \frac{(v_A^{(2)})^2 - (v_B^{(3)})^2}{2Q} \quad (17)$$

yang direduksi menjadi

$$R_{f \rightarrow e} = k_{e \rightarrow e} \frac{\rho}{2S_A^2} \quad (18)$$

dengan $k_{e \rightarrow e}$ adalah koefisien kerugian ekspansi dan sama dengan persamaan (8)

$$k_{e \rightarrow e} = \left(1 - \frac{S_A}{S_B}\right)^2 \quad (19)$$

Untuk kasus kontraksi, koefisien kerugian untuk kontraksi secara tetiba bergantung pada rasio luas dan diberikan oleh persamaan (13) dan (9)

$$R_{f \rightarrow k} = k_{e \rightarrow k} \frac{\rho}{2S_B^2} \quad (20)$$

dengan $k_{e \rightarrow k}$ adalah koefisien kerugian kontraksi [15]–[17]

$$k_{e \rightarrow k} = \left(1 - \frac{S_B}{S_C}\right)^2 \quad (21)$$

sehingga bentuk transfer matriks pada diskontinuitas saluran A dan B (kontraksi)

$$\begin{pmatrix} p_A^{(2)} \\ Q_A^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & R_k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_B^{(3)} \\ Q_B^{(3)} \end{pmatrix} \quad (22)$$

dan pada saluran B dan C (ekspansi)

$$\begin{pmatrix} p_B^{(4)} \\ Q_B^{(4)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & R_e \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_C^{(5)} \\ Q_C^{(5)} \end{pmatrix} \quad (23)$$

Dari penjelasan tersebut, maka dapat ditulis

$$\begin{aligned} p_A^{(2)} &= p_B^{(3)}, & 0 < r < b \\ Q_A^{(2)} &= Q_B^{(3)}, & 0 < r < b \\ Q_B^{(3)} &= 0, & b < r < a \end{aligned} \quad (24)$$

atau

$$\Phi^{(2)} = \Phi^{(3)}, \quad 0 < r < b \quad (25)$$

dan dengan cara yang sama untuk titik diskontinuitas (4) ke (5), sehingga diperoleh transmisi dari titik (1) ke (6),

$$\Phi^{(1)} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} \Phi^{(6)} \quad (26)$$

atau

$$\begin{pmatrix} p^{(1)} \\ Q^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p^{(6)} \\ Q^{(6)} \end{pmatrix} \quad (27)$$

dengan

$$\begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} = e^{-ikM(l_A+l_B+l_C)/(1-M^2)} \times \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & R_k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & R_e \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{pmatrix} \quad (28)$$

dengan

$$\left. \begin{aligned} A_{11} &= \left[\cos\left(\frac{kl_A}{1-M^2}\right) + iM \sin\left(\frac{kl_A}{1-M^2}\right) \right] \\ A_{12} &= \left[i \left(\frac{\rho_0 c_0}{S_A}\right) (1-M^2) \sin\left(\frac{kl_A}{1-M^2}\right) \right] \\ A_{21} &= \left[i \left(\frac{S_A}{\rho_0 c_0}\right) \sin\left(\frac{kl_A}{1-M^2}\right) \right] \\ A_{22} &= \left[\cos\left(\frac{kl_A}{1-M^2}\right) - iM \sin\left(\frac{kl_A}{1-M^2}\right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Begitu juga dengan cara yang sama untuk matriks transfer saluran B dan C .

Selanjutnya dari sini juga dapat ditentukan *Sound Transmission Loss* (STL = Kehilangan Transmisi Suara) dari resonator tipe-H dapat dihitung dari definisi [9-10]

$$STL(f, Q, l_A, l_B, l_C, S_A, S_B, S_C) = 20 \log \left(\frac{|T_{11}+T_{12}+T_{21}+T_{22}|}{2} \right) + 10 \log \left(\frac{S_A}{S_C} \right) \quad (30)$$

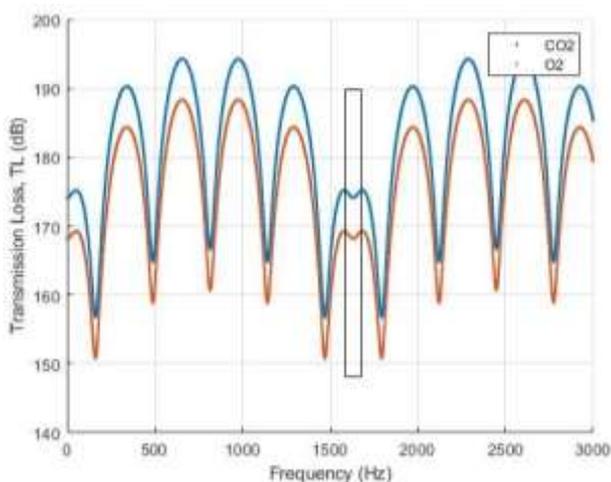
Resonator tipe-H yang ditunjukkan pada Gambar 1 memiliki ukuran panjang dan jari-jari resonator (saluran B) masing-masing 100 mm dan 3 mm. Adapun kerapatan fluida di dalam resonator masing-masing 1 kg/m³ untuk O₂ dan 1,98 kg/m³ untuk CO₂, serta kecepatan suara diambil 340 m/s. Dalam hal ini frekuensi maksimum 3000 Hz dengan resolusi frekuensi 1 Hz. Metode ini mudah digunakan di komputer untuk mendapatkan nilai teoritis untuk kehilangan transmisi. Kehilangan transmisi memberikan nilai dalam dB yang sesuai dengan kemampuan untuk meredam kebisingan. Di sini, tekanan p memiliki satuan [Pa] dan Q menunjukkan kecepatan volume [m³/s].

Hasil dan Diskusi

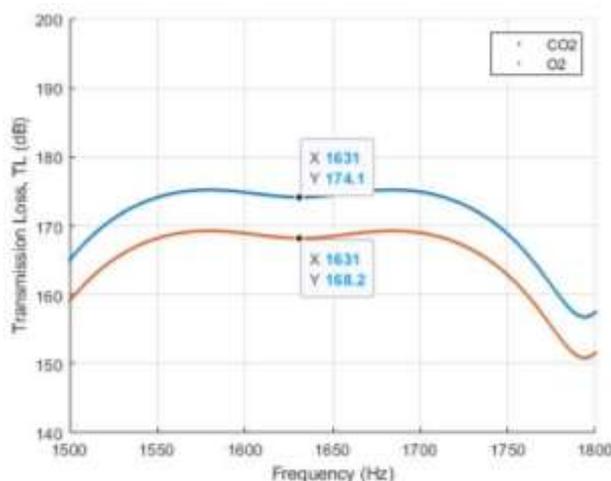
Resonator tipe-H ini memiliki ukuran resonator (saluran B) yang tetap, akan tetapi ukuran *buffer*-nya (saluran A dan C) bisa divariasikan sesuai dengan kebutuhan. Analisis dengan Metode Matriks Transfer (MMT) dan persamaan Bernoulli

digunakan untuk mendapatkan konfigurasi resonator tipe-H dari sumber suara masuk titik (1) sampai ke titik keluar titik (6) dengan menggunakan kode MATLAB. Kinerja akustik resonator diharapkan bergantung pada ukuran panjang dan jari-jari *buffer*.

Pada Gambar 3 dan 4, ditunjukkan perbandingan nilai TL terhadap gas yang dimasukkan ke dalam resonator. Pada puncak pertama, gas CO₂ memiliki nilai TL 209,4 dB yang memiliki nilai kerapatan $\rho_{CO_2} = 1,98 \text{ kg/m}^3$ lebih tinggi daripada gas O₂ yang memiliki nilai TL 203,4 dB dengan kerapatan $\rho_{O_2} = 1,0 \text{ kg/m}^3$ pada frekuensi yang sama 820 Hz. Sedangkan nilai TL terendah gas CO₂ dan O₂ masing-masing 178,5 dB dan 172,5 dB pada frekuensi 410 Hz. Gas yang digunakan dalam resonator adalah gas CO₂.

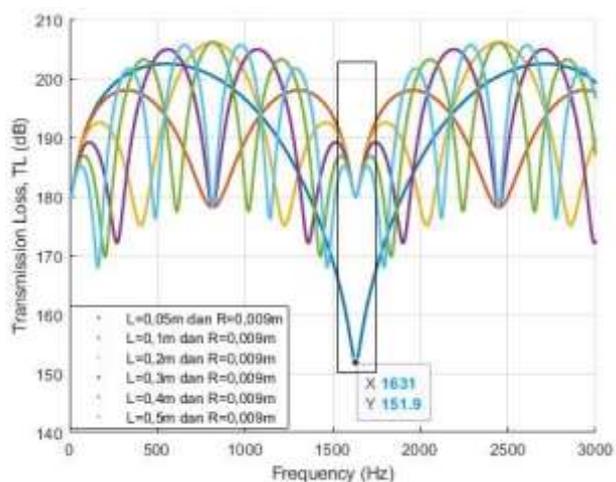


Gambar 3. Transmisi akustik untuk panjang dan jari-jari resonator 100 mm dan 3 mm dan panjang dan jari-jari *buffer* 0,5 m dan 0,005 m untuk gas CO₂ dan O₂

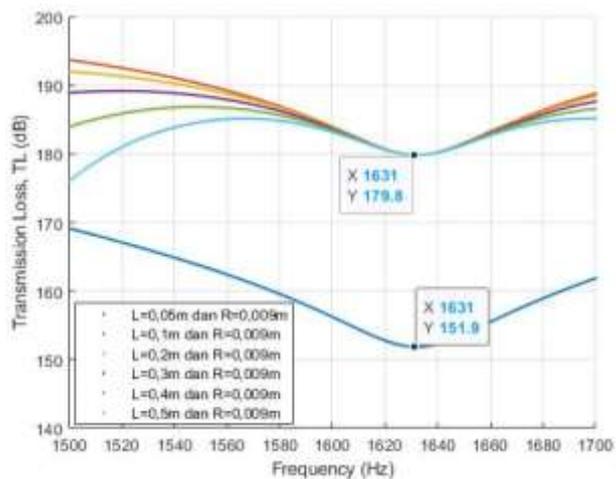


Gambar 4. *Insert* gas CO₂ dan O₂

Gambar 5 dan 6 menunjukkan pola perubahan panjang *buffer* dengan jari-jari *buffer* yang tetap, 0,009 m. Di sini terlihat bahwa semua panjang *buffer* menuju pada frekuensi yang sama 1631 Hz, dan memiliki nilai TL yang sama pula, yaitu 179,8 dB, dan juga untuk panjang *buffer* 0,05 m yang nilai TL-nya 151,9 dB. Panjang *buffer* relatif tidak terpengaruh terhadap gesekan fluida pada permukaan saluran. Akan tetapi jika panjang *buffer* tetap dan jari-jarinya diperbesar akan memunculkan pola gelombang seperti pada Gambar 7 dan 8, yang terlihat bahwa semakin besar jari-jari *buffer* nilai TL semakin besar dan semua variasi jari-jari *buffer* menuju nilai frekuensi yang sama, 1631 Hz.



Gambar 5. Variasi panjang *buffer* terhadap jari-jari *buffer* 0,009 m

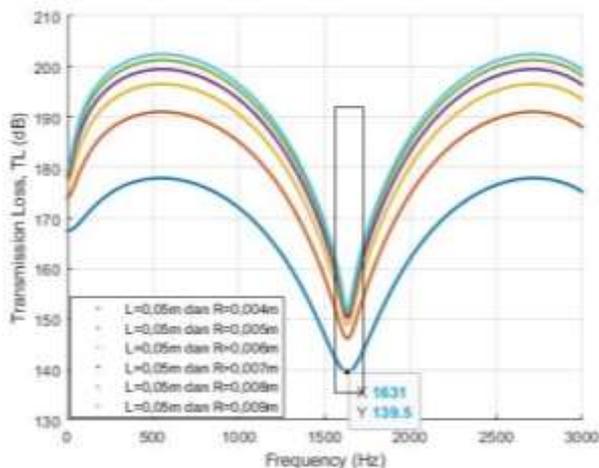


Gambar 6. *Insert* pada frekuensi 1631 Hz

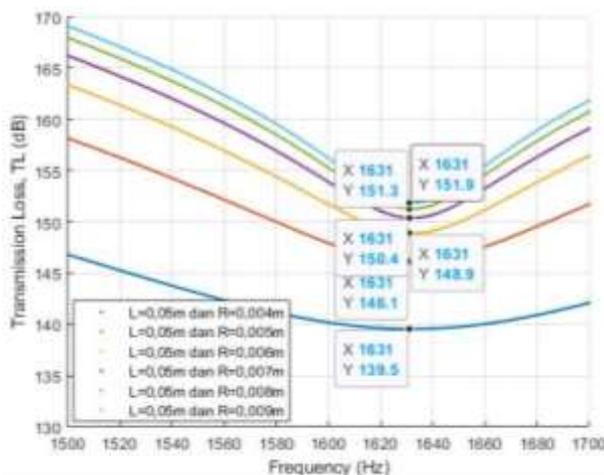
Kenaikan nilai TL pada jari-jari yang semakin besar ini karena tidak semua energi gelombang diteruskan, tapi sebagian dipantulkan karena terjadinya tumbukan oleh perubahan jari-jari saluran. Selain itu, *head loss* sangat berpengaruh

terhadap meningkatnya nilai TL karena adanya hambatan karena gesekan dan juga tumbukan perubahan diameter *buffer* terhadap resonator.

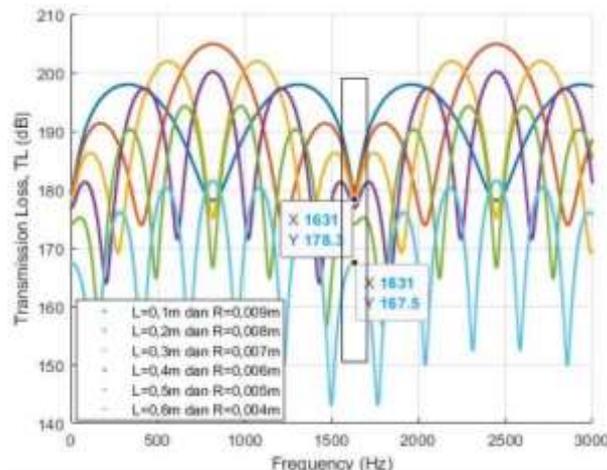
Bila dibandingkan hasil yang diperoleh dari variasi panjang dengan jari jari tetap (Gambar 5 dan 6), variasi jari-jari dengan panjang tetap (Gambar 7 dan 8) dan variasi panjang dan jari-jari *buffer* (Gambar 9), terlihat memiliki frekuensi yang sama, yaitu 1631 Hz. Ini berarti bahwa terjadi resonansi pada frekuensi ini. Hasil ini juga mendekati yang telah diperoleh sebelumnya oleh Wasono yaitu 1619,3 Hz secara teoritis dan 1616 Hz secara eksperimen [18]. Bijnen [6] menyampaikan bahwa pada $r_{buf} \approx 3 \times r_{res}$ dan $l_{res} = 2 \times r_{buf}$, ($l_{res} \gg r_{res}$) diperoleh frekuensi resonansi pada 1750 Hz. Sedangkan Harren [5] melaporkan masing-masing panjang dan jari-jari *buffer* 0,05 m dan 0,01 m menghasilkan frekuensi resonansi sebesar 1651 Hz.



Gambar 7. Variasi jari-jari *buffer* terhadap panjang *buffer* 0,05 m



Gambar 8. *Insert* pada frekuensi 1631 Hz



Gambar 9. Variasi jari-jari *buffer* dan panjang *buffer*

Simpulan

Konfigurasi panjang dan jari-jari *buffer* pada resonator tipe-H menghasilkan nilai TL yang bervariasi, terjadi perubahan intensitas energi gelombang yang merambat dari sumber yang melalui saluran atau area tertentu. Pada diskontinuitas saluran, efek kehilangan transmisi energi gelombang sangat besar karena perubahan diameter saluran mengakibatkan ada proses tumbukan dan energi tidak semuanya diteruskan, tapi sebagian dipantulkan. Pada diskontinuitas saluran, terjadi *head loss* total yang cukup besar, baik *head* elevasi, *head* kecepatan dan *head* tekanan saat fluida bergerak dalam resonator. Keberadaan *head loss* akibat adanya gesekan tidak dapat diabaikan dalam perhitungan sistem. Nilai *head loss* bervariasi sebagai kuadrat dari laju aliran. Dari simulasi diperoleh hasil frekuensi resonansi pada resonator tipe-H ini sebesar 1631 Hz. Nilai ini diperoleh dari variasi panjang dengan jari-jari *buffer* tetap dan variasi jari-jari dengan panjang *buffer* tetap. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan nilai yang diperoleh sebelumnya, baik secara eksperimen maupun teoritis.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya diberikan kepada LPDP yang telah mensponsori penelitian ini.

Pustaka

[1] S. A. S. El-Busaidy, B. Baumann, M. Wolff, and L. Duggen, "Photoacoustic Modeling Using Amplitude Mode Expansion Method in a Multi-scale T-cell Resonator," *comsol Conf. 2018 Lausanne, Switz.*, vol. 14, no. 2014, p.

- 2018, 2018.
- [2] B. Kost, B. Baumann, M. Germer, and M. Wolff, "Shape optimization of photoacoustic resonators," *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 106, no. May, pp. 45–54, 2009.
- [3] B. Baumann, M. Wolff, B. Kost, and H. Groninga, "Finite element calculation of photoacoustic signals," *Appl. Opt.*, vol. 46, no. 7, p. 1120, 2007.
- [4] K. P. Koch and W. Lahmann, "Optoacoustic detection of sulphur dioxide below the parts per billion level," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 32, no. 5, pp. 289–291, 1978.
- [5] F. J. M. Harren, F. G. C. Bijnen, J. Reuss, L. A. J. C. Voesenek, and C. W. P. M. Blom, "Sensitive Intracavity Photoacoustic Measurements with a CO₂ Waveguide Laser," *Appl. Phys. B Lasers Opt.*, vol. 50, pp. 137–144, 1990.
- [6] F. G. C. Bijnen, J. Reuss, and F. J. M. Harren, "Geometrical optimization of a longitudinal resonant photoacoustic cell for sensitive and fast trace gas detection," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 67, no. 8, pp. 2914–2923, 1996.
- [7] D. C. Dumitras, *CO₂ LASER – OPTIMISATION AND APPLICATION Edited by Dan C. Dumitras*. 2012.
- [8] J. Li, W. Chen, and B. Yu, "Recent progress on infrared photoacoustic spectroscopy techniques," *Appl. Spectrosc. Rev.*, vol. 46, no. 6, pp. 440–471, 2011.
- [9] A. K. Gupta and A. Tiwari, "Transfer Matrix Method for Noise Attenuation on Single Expansion Chamber Muffler having Central Inlet and Central Outlet with Experimental Techniques and FEA Validation," *Int. J. Theor. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 14–20, 2015.
- [10] M. Ranjbar, H. Arslan, and M. Orak, "Effect of Geometry Modification on Sound Transmission Loss in Multi-Chamber Muffler," in *The 8th International Conference on Acoustics & Vibration (ISAV2018)*, 2018, pp. 1–12.
- [11] F. C. Karal, "The Analogous Acoustical Impedance for Discontinuities and Constrictions of Circular Cross Section," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 25, no. 2, pp. 233–237, 1953.
- [12] K. S. Peat, "The acoustical impedance at discontinuities of ducts in the presence of a mean flow," *J. Sound Vib.*, vol. 127, no. 1, pp. 123–132, 1988.
- [13] B. Liu, J. Liu, W. Wei, H. Shen, and Z. Wei, "Suppression of low frequency sound transmission in fluid-filled pipe systems through installation of an anechoic node array," *AIP Adv.*, vol. 8, no. 11, 2018.
- [14] F. Chen, "Optimization design of muffler based on acoustic transfer matrix and genetic algorithm," *J. Vibroengineering*, vol. 16, no. 5, pp. 2216–2223, 2014.
- [15] T. Elnady, S. Elsaadany, and M. Åbom, "Flow and pressure drop calculation using two-ports," *J. Vib. Acoust. Trans. ASME*, vol. 133, no. 4, pp. 1–8, 2011.
- [16] B. Munson, D. Young, and T. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 8th ed. 2010.
- [17] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics A Fundamental Approach*. 2018.
- [18] Mitrayana, M. A. J. Wasono, dan M. R. Ikhsan, *Spektroskopi Fotoakustik Laser dan Aplikasinya*, 2014