

PEMODELAN BIODIVERSITAS, FAKTOR LINGKUNGAN, DAN POTENSI HABITAT BAKTERI TERMOFILIK FIRMICUTES PADA EKOSISTEM GEOTERMAL DAN SUMBER AIR PANAS DI JAWA BARAT

Andriwibowo

Pusat Studi Biodiversitas, Univ. Indonesia, Depok, 16424 Jawa Barat, Indonesia

Email : smfr2020@yahoo.com

Abstrak

Kawasan geotermal dan sumber air panas merupakan habitat bagi jenis bakteri termofilik. Terkait dengan hal itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis bakteri termofilik di kawasan geotermal dan sumber air panas yang ada di Jawa Barat dan mengidentifikasi lokasi mana saja yang kiranya memiliki potensi dalam hal diversitas dan cocok sebagai habitat bakteri termofilik. Penelitian dilakukan pada 16 stasiun penelitian yang mencakup kawasan geotermal dan sumber air panas. Variabel penelitian yang digunakan adalah bakteri termofilik dengan variabel faktor lingkungan pH dan suhu air. Sedangkan metode yang digunakan mencakup koleksi dan identifikasi bakteri termofilik, pengukuran in situ faktor lingkungan, pemetaan, pemodelan spasial, dan estimasi potensi habitat bakteri termofilik yang dilakukan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Pemodelan bakteri termofilik dengan variabel faktor lingkungan menggunakan Principal Component Analysis (PCA) dan uji korelasi (R). Hasil menunjukkan bahwa pada kawasan geotermal dan sumber air panas di Jawa Barat terdapat 2 filum, 3 kelas, 3 ordo, 4 famili, dan 9 jenis bakteri termofilik. Pada umumnya (88%) jenis bakteri termofilik yang ditemukan berasal dari Filum Firmicutes sedangkan hanya 12% yang berasal dari Filum Actinobacteria. Sebagian besar jenis bakteri termofilik (75%) pada Filum Firmicutes merupakan anggota dari Famili Bacillaceae. Jenis *Bacillus* sp. dan *Geobacillus thermoleovorans* adalah jenis yang sangat umum ditemukan pada sumber air panas dari Utara, Timur, sampai Selatan dari Jawa Barat. Pemodelan faktor lingkungan dengan PCA menunjukkan bahwa bakteri termofilik berhubungan dengan faktor suhu sumber air panas. Berdasarkan model, kenaikan suhu air akan diikuti dengan kenaikan jenis bakteri termofilik dengan korelasi $R = 0.82$. Kawasan geotermal dan sumber air panas yang berpotensi menjadi habitat bagi bakteri termofilik Firmicutes terletak pada sebelah Selatan yang memanjang dari Bujur Timur 106.30 sampai-108.00. Sedangkan kawasan Utara memiliki potensi habitat yang lebih rendah. Maka kawasan sebelah Selatan direkomendasikan untuk kegiatan penelitian bakteri termofilik lebih lanjut dan juga pelestarian diversitas mikroba.

Kata Kunci: bakteri, Firmicutes, geotermal, PCA, termofilik

1. PENDAHULUAN

Mikroorganisme berdasarkan suhu optimum pertumbuhannya secara umum dapat dibedakan atas psikrofil, psikotrop, mesofil, termofil, dan hipertermofil. Bakteri psikrofil hidup pada kisaran suhu 0-20 0C, psikotrop dapat hidup pada suhu 0-35 0C, mesofil tumbuh pada suhu 20-45 0C, dan termofil dapat tumbuh pada suhu 45-65 0C. Bakteri yang hidup pada suhu di atas 90 0C dan maksimal pada suhu 100 0C disebut bakteri hipertermofil. Selain itu masih ada kelompok bakteri yang mampu hidup pada suhu 80-113 0C. Indonesia sendiri memiliki sekurangnya 10 ribu jenis mikroorganisme termasuk bakteri yang diperkirakan hidup secara alami. Salah satunya adalah bakteri termofilik yang dapat diisolasi dari lingkungan geotermal mencakup sumber air panas dan mampu hidup dengan suhu optimal berkisar antara 50–80 oC

Kondisi geografis Indonesia menyebabkan kawasannya memiliki banyak kawasan geotermal dan juga sumber air panas. Pemanasan pada lapisan bumi berhubungan dengan aktivitas geotermal mengakibatkan keluarnya air tanah bersuhu tinggi dari kerak bumi yang kemudian menjadi sumber air panas. Sampai tahun 2009 telah diketahui sekitar 265 lokasi sumber panas bumi yang tersebar baik di sepanjang jalur vulkanik yang membentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Sulawesi dan juga jalur non-vulkanik seperti di Kalimantan dan Papua. Dari beberapa lokasi sumber air panas itu (Asnawi 2006), bakteri termofilik yang telah berhasil diisolasi mencakup *Thermus*, *Acetogenium*, *Bacillus*, *Thermotrix*, *Thermodesulfobacterium*, *Thermomicrobium*, dan *Sulfobacillus*. Keberadaan sumber air panas ini turut mendukung keberadaan dan diversitas bakteri termofilik. Salah satu lokasi yang memiliki banyak kawasan geotermal dan sumber panas air bumi adalah di daerah Jawa Barat. Maka terkait dengan hal itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis bakteri

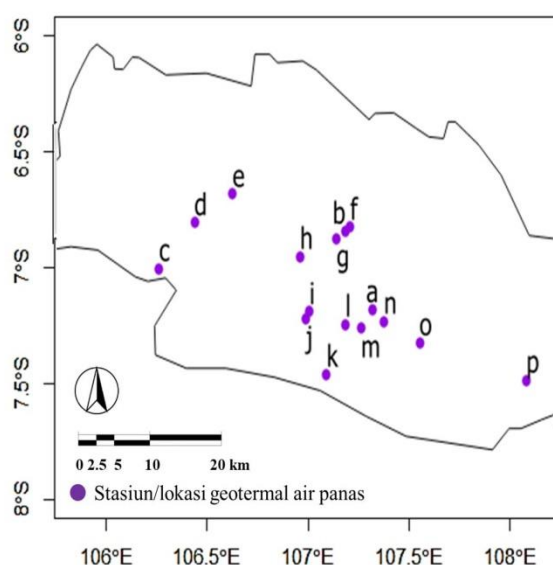
termofilik di kawasan geotermal dan sumber air panas yang ada di Jawa Barat dan mengidentifikasi lokasi mana saja yang kiranya memiliki potensi dalam hal diversitas dan cocok sebagai habitat bakteri termofilik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Jawa Barat di kawasan geotermal dan sumber air panas. Variabel yang diambil adalah sampel bakteri termofilik dengan variabel faktor lingkungan pH dan suhu air. Analisis data mencakup pemetaan, pemodelan spasial, dan estimasi potensi habitat bakteri termofilik, serta korelasi variabel bakteri dengan variabel faktor lingkungan.

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian adalah sumber air panas pada kawasan geotermal di Jawa Barat. Tempat penelitian terdiri atas 16 stasiun (a-p) yang berlokasi di sumber air panas itu (Gambar 1). Stasiun itu terletak pada Lintang Selatan 6.50-7.50 dan Bujur Timur 106.00-108.00. Di setiap stasiun itu dilakukan pengambilan sampel bakteri termofilik dan variabel faktor lingkungan yang mencakup suhu dan pH air.



Gambar 1. Lokasi 16 stasiun penelitian di kawasan geotermal dan sumber air panas di Jawa Barat

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan untuk mengambil sampel bakteri di stasiun penelitian mencakup botol steril dan kertas aluminium. Sedangkan suhu dan pH air diukur in situ menggunakan alat multiparameter. Koordinat stasiun penelitian dicatat dengan alat *Global Positioning System* (GPS). Alat yang digunakan untuk identifikasi bakteri di laboratorium mencakup cawan petri, tabung reaksi, ose, pipet, lampu bunsen, indikator autoklaf, botol sampel, labu Erlenmeyer, dan inkubator. Sedangkan bahan penelitian untuk identifikasi bakteri di laboratorium terdiri atas kapas, label, alkohol 70%, spiritus, aquadest, kertas pH, NaCl 0,8%, safranin, kristal violet, iodine, reagen Kovac, dan *media minimal broth*.

2.3. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel bakteri termofilik diambil langsung dari sumber air panas di setiap stasiun penelitian. Sampel air sebanyak 1 liter dimasukkan ke dalam botol gelas yang telah

disterilisasi dengan autoklaf dan kemudian ditutup dengan rapat menggunakan kertas aluminium. Kemudian botol itu dilapisi plastik yang diikat rapat. Botol berisi sampel itu kemudian dibawa ke laboratorium untuk diidentifikasi jenis bakteri termofiliknya.

2.4. Identifikasi Bakteri Thermofilik

Identifikasi jenis bakteri termofilik dari sampel air panas mengikuti metode Panda et al. (2013). Berdasarkan Samuel (2018) dan Oztas Gulmus et al. (2020) identifikasi bakteri termofilik mencakup menumbuhkan bakteri pada media, inokulasi dan inkubasi, dan pengamatan morfologi berdasarkan koloni, tepi, warna, dan permukaan kultur bakteri. Identifikasi kemudian dilanjutkan dengan pewarnaan Gram pada kultur bakteri yang ditumbuhkan pada media untuk selanjutnya diamati di bawah mikroskop.

2.5. Permodelan Spasial Bakteri Thermofilik

Pemodelan spasial dilakukan dengan memetakan dan interpolasi keberadaan bakteri termofilik yang ditemukan pada 16 stasiun penelitian. Keberadaan bakteri dan koordinat geografi dari 16 stasiun penelitian itu dicatat dengan menggunakan alat GPS. Hasil data berupa koordinat kemudian ditabulasikan dan dipetakan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Melalui SIG ini kemudian data bakteri mencakup jenis dan jumlah jenis dipetakan dan diinterpolasikan.

2.6. Permodelan Potensi Habitat Bakteri Thermofilik

Analisis potensi habitat bakteri termofilik dilakukan untuk melihat lokasi mana saja di luar stasiun penelitian yang berpotensi sebagai habitat bakteri itu. Data yang digunakan adalah data keberadaan bakteri yang kemudian dianalisa dengan SIG untuk melihat dan memperkirakan sejauh mana bakteri dapat menyebar dan lokasi mana saja yang kiranya cocok untuk habitat bakteri itu.

2.7. Permodelan Faktor Lingkungan

Pemodelan data yang digunakan adalah analisis statistik yang mencakup analisis *Principal Component Analysis* (PCA) dan uji korelasi. PCA (Uribe-Lorío et al. 2019) digunakan untuk melihat arah hubungan variabel data bakteri termofilik dengan variabel faktor lingkungan. Sedangkan uji korelasi digunakan untuk menguji derajat nyata hubungan variabel data bakteri termofilik dengan variabel faktor lingkungan berdasarkan nilai R nya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Permodelan Spasial Diversitas Bakteri Termofilik

Hasil (Tabel 1) menunjukkan bahwa pada kawasan geotermal dan sumber air panas di Jawa Barat terdapat 2 filum, 3 kelas, 3 ordo, 4 famili, dan 9 jenis bakteri termofilik. Pada umumnya (88%) jenis bakteri termofilik yang ditemukan berasal dari Filum Firmicutes sedangkan hanya 12% yang berasal dari Filum Actinobacteria. Sebagian besar jenis bakteri termofilik (75%) pada Filum Firmicutes merupakan anggota dari Famili Bacillaceae. Filum Firmicutes memang diketahui sebagai kelompok bakteri yang dapat hidup pada suhu tinggi atau termofilik (Gagliano et al. 2015, Pandey et al. 2015). Sedangkan Famili Bacillaceae sendiri diketahui tersebar dari antartika sampai ke sumber air panas dan ekosistem gurun pasir. Famili ini juga digolongkan sebagai termofilik, psikrofilik, asidofilik, alkalifilik dan halofilik yang mampu beradaptasi pada kisaran suhu, pH, dan juga konsentrasi garam yang tinggi. Gambar 2 memperlihatkan komposisi jenis bakteri termofilik di setiap stasiun dan kawasan geotermal. Dari gambar itu terlihat jelas bahwa perbedaan lokasi mempengaruhi komposisi jenis bakteri. Kawasan geotermal dan sumber air panas di sebelah Barat pada umumnya didominasi oleh bakteri jenis *Bacillus amyloliquefaciens*, *Actinomadura* sp., dan

Brevibacillus. Jenis *Bacillus thermoleovorans* dan *Geobacillus kastopilus* umum ditemukan pada sumber air panas di sebelah Utara. Sementara itu *Bacillus* sp. dan diikuti *Geobacillus thermoleovorans* adalah jenis yang sangat umum menyebar di sumber air panas dari Utara, Timur, sampai Selatan. Jenis *Bacillus subtilis* adalah bakteri termofilik yang hanya ditemukan di sebelah Selatan. *G. thermoleovorans* sendiri adalah jenis bakteri termofilik yang memiliki habitat di air panas dan distribusi geografi yang luas dari sumber air panas di India, Cina, dan Malaysia (Muhd Sakaff, et al. 2012, Rajashekhar et al. 2019). *Actinomadura* sp. adalah satu satunya jenis bakteri termofilik dari Filum Actinobacteria yang ditemukan. Chaudhary dan Prabhu (2016) menyatakan bahwa *Actinomadura* sp. adalah termasuk bakteri termofilik yang memang dapat hidup pada sumber air panas dengan suhu mencapai 55 0C.

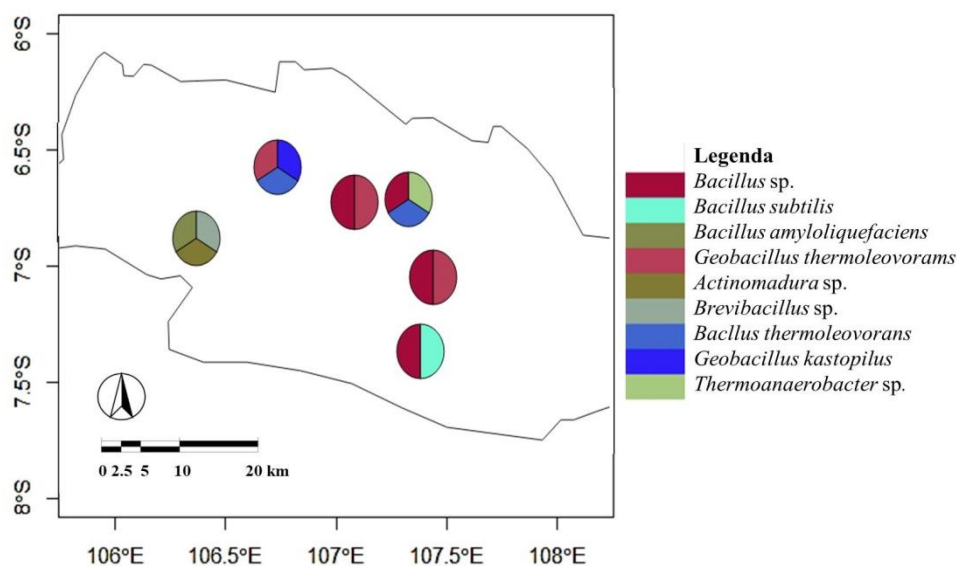
Tabel 1. Jenis bakteri termofilik di setiap stasiun dan kawasan geotermal di Jawa Barat

Filum	Kelas	Ordo	Famili	Spesies	Stasiun
Firmicutes	Bacilli	Bacillales	Paenibacillaceae	<i>Brevibacillus</i> sp.	c
			Bacillaceae	<i>Bacillus</i> sp	a, b, f, m
				<i>Bacillus subtilis</i>	m
				<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	c
				<i>Bacillus thermoleovorans</i>	f, e
				<i>Geobacillus kastopilus</i>	e
		<i>Geobacillus thermoleovorans</i>	a, b, e		
	Clostridia	Thermoanaerobacteriales	Thermoanaerobacteriaceae	<i>Thermoanaerobacter</i> sp.	f
Actinobacteria	Actinobacteria	Actinomycetales	Thermomonosporaceae	<i>Actinomadura</i> sp.	c

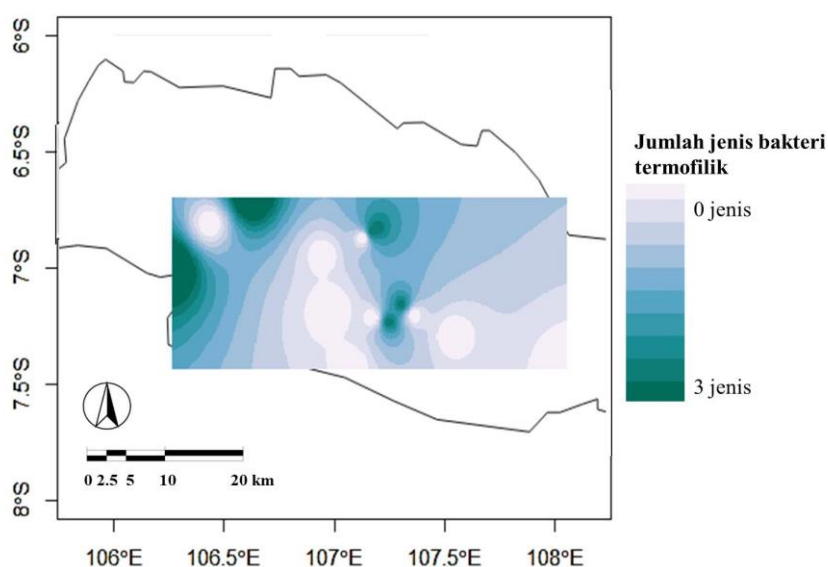
Gambar 3 menampilkan pemodelan diversitas bakteri termofilik spesifik pada kawasan dengan batasan geografi Lintang Selatan 6.70-7.50 dan Bujur Timur 106.30-108.00 Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kawasan geotermal dan sumber air panas di sebelah Barat memiliki keanekaragaman bakteri termofilik lebih tinggi daripada kawasan lainnya. Sedangkan kawasan di sebelah Timur dan Selatan memiliki keanekaragaman bakteri termofilik yang lebih rendah.

3.2. Pemodelan Faktor Lingkungan Bakteri Termofilik

Pemodelan faktor lingkungan kawasan geotermal dan sumber air panas mencakup pH dan suhu air. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan analisis PCA dan uji korelasi. Analisis PCA (Gambar 4) menunjukkan bahwa jumlah jenis bakteri termofilik sangat searah dengan kenaikan suhu air tapi tidak dengan kenaikan pH. Hubungan searah itu kemudian diuji dengan analisis korelasi. Hasil analisis seperti yang tampak pada Gambar 5 menunjukkan kenaikan suhu air panas lebih berkorelasi positif dengan kenaikan jenis bakteri termofilik dengan signifikansi korelasi bernilai 0.82 lebih tinggi daripada korelasi faktor pH dengan jenis bakteri. Sementara antar faktor lingkungan terlihat korelasi positif antara faktor suhu dan pH air panas dengan signifikansi korelasi bernilai 0.62. Korelasi positif khususnya suhu air dengan diversitas bakteri termofilik adalah hal yang umum dijumpai di alam. Panda et al. (2016) melaporkan bahwa Filum Firmicutes di beberapa sumber air panas di Asia berdasarkan analisis PCA memiliki korelasi positif dengan faktor suhu air. Sementara Firmicutes tidak berkorelasi dengan pH Hal serupa juga dijumpai pada komunitas bakteri termofilik pada kawasan geotermal dan sumber air panas di Jawa Barat pada penelitian ini.



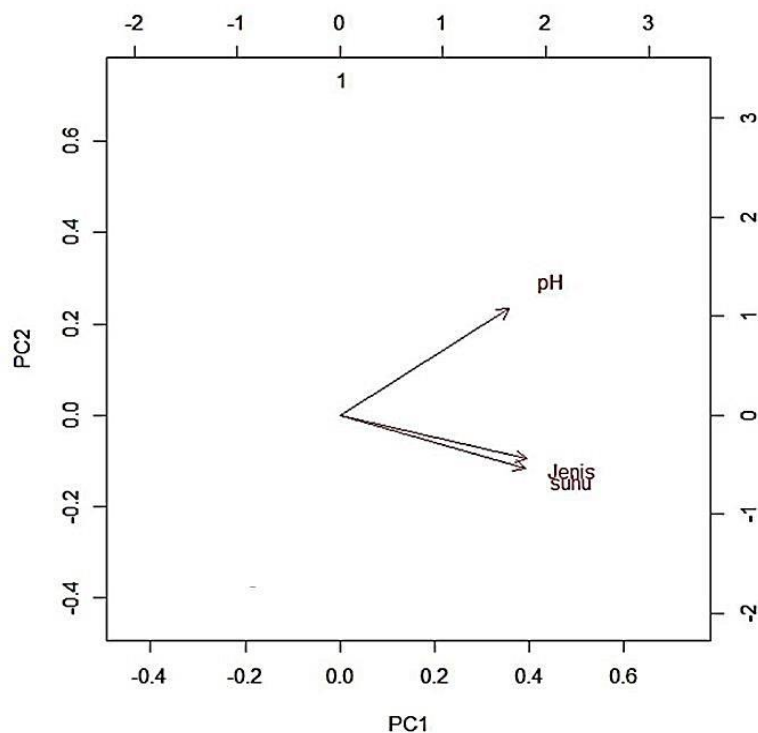
Gambar 2. Komposisi jenis bakteri termofilik di setiap stasiun dan kawasan geotermal di Jawa Barat



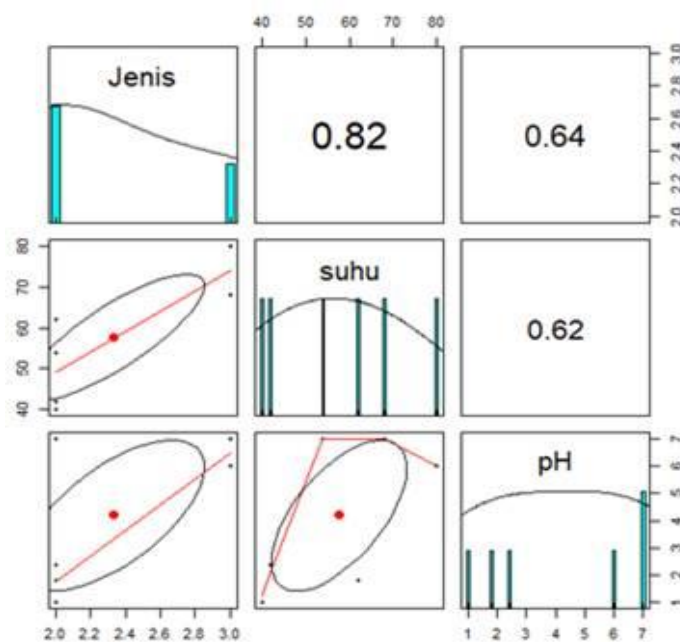
Gambar 3. Permodelan diversitas dan jumlah jenis bakteri termofilik di setiap stasiun dan kawasan geotermal di Jawa Barat

3.3. Permodelan Potensi Habitat Bakteri Termofilik

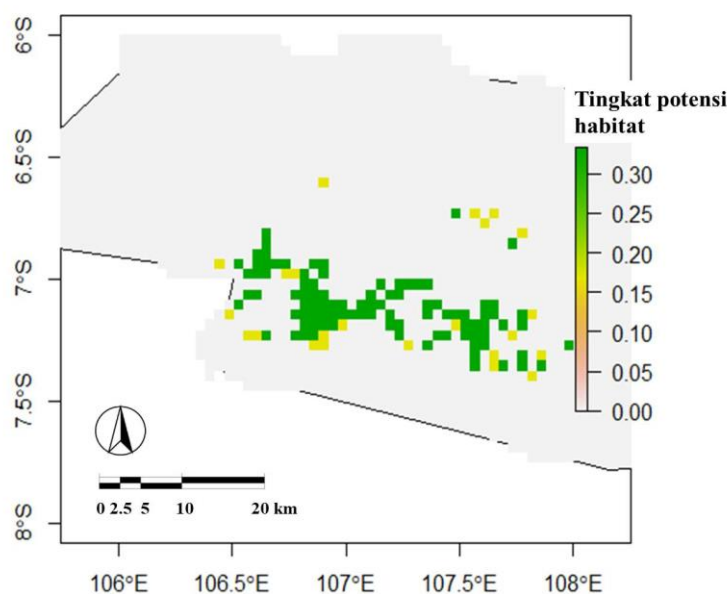
Kawasan geotermal dan sumber air panas yang berpotensi menjadi habitat bagi bakteri termofilik dapat dilihat pada Gambar 6. Pada model itu terlihat bahwa kawasan Selatan yang memanjang dari Bujur Timur 106.30 sampai 108.00 berpotensi sebagai habitat bakteri termofilik Filum Firmicutes. Meskipun begitu kawasan Utara pada Lintang Selatan kurang dari 6.70 memiliki potensi rendah, Di sebelah Utara memang ada area yang berpotensi tetapi jauh lebih sedikit daripada di Selatan.



Gambar 4. Pemodelan faktor lingkungan (pH, suhu air) dengan bakteri termofilik di setiap stasiun dan kawasan geotermal di Jawa Barat



Gambar 5. Korelasi faktor lingkungan (pH, suhu air) dengan bakteri termofilik di setiap stasiun dan kawasan geotermal di Jawa Barat



Gambar 6. Pemodelan potensi habitat bakteri termofilik di setiap stasiun dan kawasan geotermal di Jawa Barat

4. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawasan geotermal dan sumber air panas di Jawa Barat memiliki diversitas bakteri termofilik yang didominasi oleh Filum Firmicutes, Famili Bacillaceae, dan jenis *Bacillus* sp diikuti *Geobacillus thermoleovorans*. Diversitas jenis bakteri termofilik berkorelasi positif dengan suhu tinggi pada sumber air panas. Berdasarkan pemodelan, kawasan Selatan dari Jawa Barat memiliki potensi sebagai habitat bakteri termofilik. Berdasarkan hasil dari penelitian ini maka kawasan geotermal dan air panas terutama sebelah Barat direkomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui diversitas bakteri termofilik. Sedangkan kawasan sebelah Selatan direkomendasikan untuk upaya pelestarian dan konservasi mikroorganisme mengingat kawasan itu diperkirakan merupakan habitat potensial bagi bakteri termofilik khususnya Filum Firmicutes.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Asnawi, H. 2006. Keanekaragaman Bakteri Termofilik yang Terdapat Dalam Sumber Air Panas di Taman Wisata Padusan Pacet, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur (Skripsi). Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Malang, Malang.
- Chaudhary, N., Prabhu, S. 2016. Thermophilic Actinomycetes from Hot Water Spring Capable of Producing Enzymes of Industrial Importance. *International Journal of Research Studies in Biosciences*.4(6): 29-35. 65. DOI.org/10.20431/2349-0365.040600.
- Gagliano, M.C., Braguglia, C.M., Petruccioli, M., Rossetti, S. 2015. Ecology and biotechnological potential of the thermophilic fermentative *Coprothermobacter* spp., *FEMS Microbiology Ecology*, 91(5).
- Muhd Sakaff, M. K., Abdul Rahman, A. Y., Saito, J. A., Hou, S., Alam, M. 2012. Complete genome sequence of the thermophilic bacterium *Geobacillus thermoleovorans* CCB_US3_UF5. *Journal of Bacteriology*, 194(5), 1239. Doi.org/10.1128/JB.06580-11.
- Oztas Gulmus, E., Gormez, A. 2020. Identification and Characterization of Novel Thermophilic Bacteria from Hot Springs, Erzurum, Turkey. *Curr Microbiol*, 77: 979–987. DOI.org/10.1007/s00284-020-01880-0.
- Panda, M.K., Sahu, M.K., Tayung, K. 2013. Isolation and characterization of a thermophilic *Bacillus* sp. with protease activity isolated from hot spring of Tarabalo, Odisha, India. *Iranian Journal of Microbiology*, 5(2), 159–165.

- Panda, A.K., Bisht, S.S. Mandal S.D., Kumar, N.S. 2016..Bacterial and archeal community composition in hot springs from Indo-Burma region, North-east India. *AMB Exp.*, 6:111.
- Pandey, A., Dhakar, K., Sharma, A. 2015. Thermophilic bacteria that tolerate a wide temperature and pH range colonize the Soldhar (95 °C) and Ringigad (80 °C) hot springs of Uttarakhand, India. *Ann Microbiol*, 65(809–816). DOI.org/10.1007/s13213-014-0921-0
- Rajashekhar, K., Neelagund, S., Mahadevan, G. 2019. Novel *Geobacillus thermoleovorans* KNG 112 Thermophilic Bacteria from Bandaru Hot Spring: A Potential Producer of Thermostable enzymes. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 134-141. DOI.org/10.22159/ajpcr.2020.v13i1.36008.
- Semuel, Y. 2018. Isolation and Identification of Thermophilic Bacteria, Producer of Amylase Enzyme, from Lake Linow, North Sulawesi. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 12. 2018.
- Uribe-Lorío, L., Brenes-Guillén, L., Hernández-Ascencio, W., Mora-Amador, R., González, G., Ramírez-Umaña, C. J., Díez, B., & Pedrós-Alió, C. 2019. The influence of temperature and pH on bacterial community composition of microbial mats in hot springs from Costa Rica. *MicrobiologyOpen*, 8(10), e893. DOI.org/10.1002/mbo3.893.