

Analisis Keanekaragaman Bakteri Tanah Gambut Asal Kawasan Cagar Biosfer Giam Siak Kecil-Bukit Batu, Riau

Delita Zul, Bernadeta L. Fibriarti, dan Ellya Mursida
Jurusan Biologi FMIPA Universitas Riau

Abstrak

Sebagian besar wilayah Cagar Biosfer Giam Siak Kecil – Bukit Batu telah dikonversi menjadi hutan tanaman industri, lahan perkebunan, dan perambahan perladangan yang mengakibatkan perubahan vegetasi. Aktivitas tersebut menyebabkan vegetasi yang asli menyusut dan perubahan lingkungan makro dan mikro habitat. Kondisi lingkungan yang stres akibat alih fungsi lahan akan mempengaruhi populasi dan keanekaragaman bakteri tanah. Hingga saat ini, belum diketahui hubungan antara nilai indeks keanekaragaman bakteri dengan perubahan vegetasi lahan akibat dampak dari alih fungsi lahan di Cagar Biosfer GSK-BB. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh informasi bahwa karakter morfologi, fisiologis dan biokimia yang dimiliki bakteri tanah asal Cagar Biosfer GSK-BB bervariasi, akan tetapi cenderung mengelompok berdasarkan asal isolat. Indeks keanekaragaman berkisar antara 1,56 - 3,67, yang berarti keadaan ekosistem gambut asal Cagar Biosfer GSK-BB dikategorikan sedang dan tinggi. Terlihat kecenderungan penurunan nilai indeks pada area yang telah mengalami alih fungsi lahan. Indeks kemerataan berkisar antara 0,87-0,98, yang berarti penyebaran bakteri tanah gambut asal Cagar Biosfer GSK-BB dikategorikan dalam keragaman tinggi.

Key words: bakteri gambut, Cagar Biosfer Giam Siak Kecil-Bukit Batu, Indeks Keanekaragaman, Indeks Kemerataan

Latar Belakang

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa keberadaan vegetasi berkorelasi positif terhadap komposisi komunitas mikroba tanah, dimana tanah yang tanpa vegetasi memiliki jumlah jenis bakteri yang lebih rendah (Zul *et al.* 2007). Aktivitas antropogenik yang mengakibatkan terjadinya perubahan vegetasi lahan juga mempengaruhi keanekaragaman bakteri tanah. Hal tersebut menurunkan proporsi *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, dan *Actinobacteria* (Buckley dan Schmidt 2001). Hingga saat ini banyak penelitian mengenai analisis keanekaragaman bakteri tanah, namun informasi keanekaragaman bakteri asal Cagar Biosfer GSK-BB belum banyak diketahui. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai analisis keanekaragaman bakteri di Cagar Biosfer GSK-BB.

Odum (1996) menyatakan keanekaragaman suatu spesies dapat berubah dengan cepat di ekosistem. Tingginya keanekaragaman spesies menunjukkan keseimbangan ekosistem tersebut, sebaliknya rendahnya keanekaragaman spesies menandakan ekosistem mengalami stres atau tekanan. Indeks keanekaragaman (H') menggambarkan keadaan populasi organisme secara matematis untuk mempermudah dalam menganalisis informasi-informasi jumlah individu masing-masing jenis dalam suatu komunitas (Ardi 2002). Sementara itu, indeks kemerataan digunakan untuk mengetahui pola penyebaran individu tiap jenis, apakah merata atau tidak. Bila nilai indeks kemerataan tinggi, ini menandakan bahwa setiap taxon (jenis) penyebarannya rendah. Sebaliknya, jika nilai indeks kemerataan rendah, menandakan bahwa setiap taxon (jenis) penyebarannya tinggi (Krebs 1978).

Metode Penelitian

Purifikasi Isolat. Koleksi isolat bakteri dimurnikan pada medium nutrient agar metode *streak plate* dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang sampai didapatkan koloni yang terpisah. Bakteri yang tumbuh diamati bentuk dan pergerakan selnya di bawah mikroskop. Apabila ciri koloni, bentuk sel dan pergerakan sel sudah sama, maka sel tersebut dianggap sudah murni. Apabila belum murni, 1 ose koloni digores lagi pada NA padat hingga didapat kultur murni (Hadioetomo 1993). Isolat yang sudah murni selanjutnya dikarakterisasi secara parsial.

Karakterisasi Bakteri

Pengamatan Morfologi Koloni dan Sel. Isolat bakteri umur 24 jam diamati morfologi koloni dan selnya yang meliputi ukuran koloni, bentuk koloni, tepian, elevasi, konsistensi dan warna koloni (Hadioetomo 1993) dan bentuk sel. Bentuk sel bakteri diamati setelah dilakukan pewarnaan Gram untuk setiap isolat yang diamati.

Analisis Fisiologi. Isolat dianalisis pertumbuhannya pada berbagai variasi pH medium (pH 3, 5, dan 7), suhu inkubasi (suhu 4°C, 29°C dan 50°C), dan pada medium yang mengandung NaCl dengan konsentrasi 3% dan 6,5% dengan waktu inkubasi isolat selama 24 – 48 jam.

Analisis Biokimia. Analisis yang dilakukan antara lain uji MR-VP, uji hidrolisis pati, uji hidrolisis kasein, uji hidrolisis gelatin, uji fermentasi karbohidrat, uji oksidase, uji katalase, dan uji urease.

Keanekaragaman Bakteri Tanah

Total Indeks Keanekaragaman dan Kemerataan. Indeks keanekaragaman bakteri tanah dihitung dengan menggunakan formula indeks keanekaragaman Shannon dan Wiener Diversity Indeks (Ludwig 1988) yaitu:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i) \ln (p_i)$$

dimana H' adalah indeks keranekaragaman Jenis, ni adalah nilai penting jenis ke I, N adalah jumlah nilai penting semua jenis, S adalah umlah jenis teramati yang ditemukan, dan Pi merupakan ni/N sebagai proporsi jenis ke-i. Indeks kemerataan bakteri tanah dihitung dengan menggunakan formula indeks kemerataan (Odum 1996) yaitu:

$$E = H' / \ln S$$

dimana E adalah indeks kemerataan jenis, H adalah indeks Shannon, dan S adalah jumlah jenis teramati yang ditemukan

Konstruksi Dendogram. Nilai similaritas setiap strain bakteri (*Operational Taxonomical Unit*) dihitung dengan membandingkan dengan masing-masing strain yang lain. Data yang didapat dari masing-masing strain yang ada, dibandingkan setiap karakter pembedanya berdasarkan taksonomi Adansonian. Kemudian semua data berupa unit karakter yang ada dimasukkan ke dalam matriks n x t untuk dianalisis selanjutnya. Tingkat kemiripan akan ditentukan dengan menggunakan program komputer NTSYS-pc 2.02 (Rohlf 1993) dan dibuat konstruksi dendogram berdasarkan nilai dalam matriks similaritas (UPGMA): untuk mengklasifikasikan strain atau OTU (*Operational Taxonomical Unit*) berdasarkan nilai indeks similaritas maka dilakukan pengklusteran ke dalam tabel analisis klaster.

Hasil dan Pembahasan

Keanekaragaman Bakteri

Karakterisasi Parsial Isolat. Sebanyak 115 isolat dipurifikasi dan diperoleh 86 isolat yang mampu tumbuh dan membentuk koloni tunggal pada medium *nutrien agar* (NA). Isolat yang dipurifikasi berasal dari lokasi ladang ubi kayu 42 isolat, lahan gambut habis terbakar 38 isolat dan hutan akasia 6 isolat. Morfologi koloni bulat dan warna koloni isolat bervariasi, meliputi pink, putih krem, orange dan krem kuning. Seluruh isolat memiliki tepian koloni licin, elevasi cembung dan konsistensi menempel (Tabel 1). Sebanyak 12 isolat (13,9%) bersifat motil. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya (Puspitasari *et al.* 2009) yang memperoleh seluruh isolat bakteri bersifat motil yang berasal dari tanah daerah pegunungan.

Seluruh isolat uji tergolong bakteri gram negatif kecuali UK₃_1 yang termasuk bakteri gram positif dengan bentuk isolat kokus sebanyak 67 isolat (77,9%) dan basil sebanyak 19 isolat (22,1%) (Tabel 1). Hasil penelitian ini sedikit berbeda jika dibandingkan dengan hasil karakterisasi yang dilakukan oleh Sri (2002) yang memperoleh seluruh isolat bakteri dari tanah masam (100%) bersifat gram negatif namun berbentuk basil. Sebanyak 38 isolat (44,2%) mampu tumbuh pada medium yang mengandung NaCl 3% dan 51 isolat (59,3%) mampu tumbuh pada medium yang mengandung NaCl 6,5%. Sebanyak 32 isolat (37,2%) mampu tumbuh pada kedua konsentrasi NaCl uji, sedangkan yang tidak dapat tumbuh pada kedua konsentrasi NaCl uji sebanyak 28 isolat (32,6%). Natrium klorida (NaCl) berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan bagi kelompok bakteri tertentu dan juga dapat berfungsi merangsang kelompok bakteri halofilik (Weiser *et al.* 1978). Uji kemampuan pertumbuhan bakteri pada variasi suhu 4°C, suhu ruang dan 50°C menunjukkan ada isolat yang mampu pada semua suhu pertumbuhan uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat relatif tidak tumbuh baik pada suhu 4°C, melainkan mampu tumbuh baik pada suhu ruang ($\pm 32^\circ\text{C}$) yang dapat digolongkan ke dalam kelompok bakteri mesofilik dan pada suhu 50°C yang digolongkan ke dalam kelompok bakteri termofilik. Namun juga terdapat beberapa bakteri yang bersifat termotoleran, dimana mampu tumbuh pada suhu 4°C, suhu ruang $\pm 32^\circ\text{C}$ dan 50°C.

Hal yang sama pada saat dilakukan uji pertumbuhan pada berbagai variasi pH medium. Sebanyak 52 isolat (60,5%) mampu tumbuh pada pH medium 3, seluruh isolat tumbuh pada pH 5, dan sebanyak 47 isolat (54,7%) yang mampu tumbuh pada pH medium 7. pH tanah mempengaruhi pertumbuhan mikroba dan keragaman spesiesnya (Sembiring&Fachmiasari 2004).

Seluruh isolat bereaksi positif, tetapi bereaksi negatif pada uji methyl red. Reaksi positif uji Voges Proskauer ditandai dengan terjadinya perubahan warna menjadi merah pada medium setelah penambahan larutan KOH dan α -naftol (Helmich *et al.* 2001). Hasil penelitian ini berbeda jika dibandingkan dengan hasil karakterisasi yang dilakukan oleh Puspitasari *et al.* (2002) yang memperoleh seluruh isolat bakteri (100%) bereaksi negatif pada uji Voges Proskauer dan uji methyl red yang berasal dari tanah daerah pegunungan. Selain itu, jumlah isolat yang bereaksi positif pada uji hidrolisis pati, hidrolisis kasein, hidrolisis gelatin, uji urease, uji oksidase dan uji katalase bervariasi dari masing-masing isolat uji. Hal yang sama juga diperoleh dari uji fermentasi karbohidrat, ada yang isolat mampu memfermentasi karbohidrat uji dan menghasilkan gas. Data disajikan secara detail pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabulasi jumlah isolat berdasarkan karakter yang diuji

No	Karakter yang diuji	Reaksi +/Tumbuh		Reaksi -/Tidak Tumbuh		Total Isolat Uji
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	
1	Pewarnaan Gram	85	98,8%	1	1,2%	86
2	Uji motilitas	12	13,9%	74	86,1%	86
	Pertumbuhan pada NaCl:					
3	NaCl 3%	38	44,2%	48	55,8%	86
4	NaCl 6,5%	51	59,3%	35	40,7%	86
5	NaCl 3% dan 6,5%	32	37,2%	54	62,8%	86
	Pertumbuhan pada suhu:					
6	4°C	15	17,4%	71	82,6%	86
7	30-32°C	86	100%	-	-	86
8	50°C	82	95,3%	4	4,7%	86
9	4°C, 30-32°C, 50°C	15	17,4%	71	82,6%	86
	Pertumbuhan pada:					
10	pH 3	52	60,5%	34	39,5%	86
11	pH 5	86	100%	-	-	86
12	pH 7	47	54,7%	39	45,3%	86
13	pH 3, 5 dan 7	31	36,0%	55	64,0%	86
	Uji Biokimia					
14	Uji Voges Proskauer	86	100%	-	-	86
15	Uji methyl red	-	-	86	100%	86
16	Hidrolisis pati	2	2,3%	84	97,7%	86
17	Hidrolisis kasein	8	9,3%	78	90,7%	86
18	Hidrolisis gelatin	52	60,5%	34	39,5%	86
19	Fermentasi karbohidrat					86
	• Fruktosa	29	33,7%	57	66,3%	
	• Glukosa	19	22,1%	67	77,9%	
	• Sukrosa	21	24,4%	65	75,6%	
	• Selobiosa	9	10,5%	77	89,5%	
	• Galaktosa	10	11,6%	76	88,4%	
	• Laktosa	35	40,7%	51	59,3%	
20	Uji urease	9	10,5%	77	89,5%	86
21	Uji oksidase	-	-	86	100%	86
22	Uji katalase	86	100%	-	-	86

Similaritas Bakteri Asal Cagar Biosfer GSK-BB

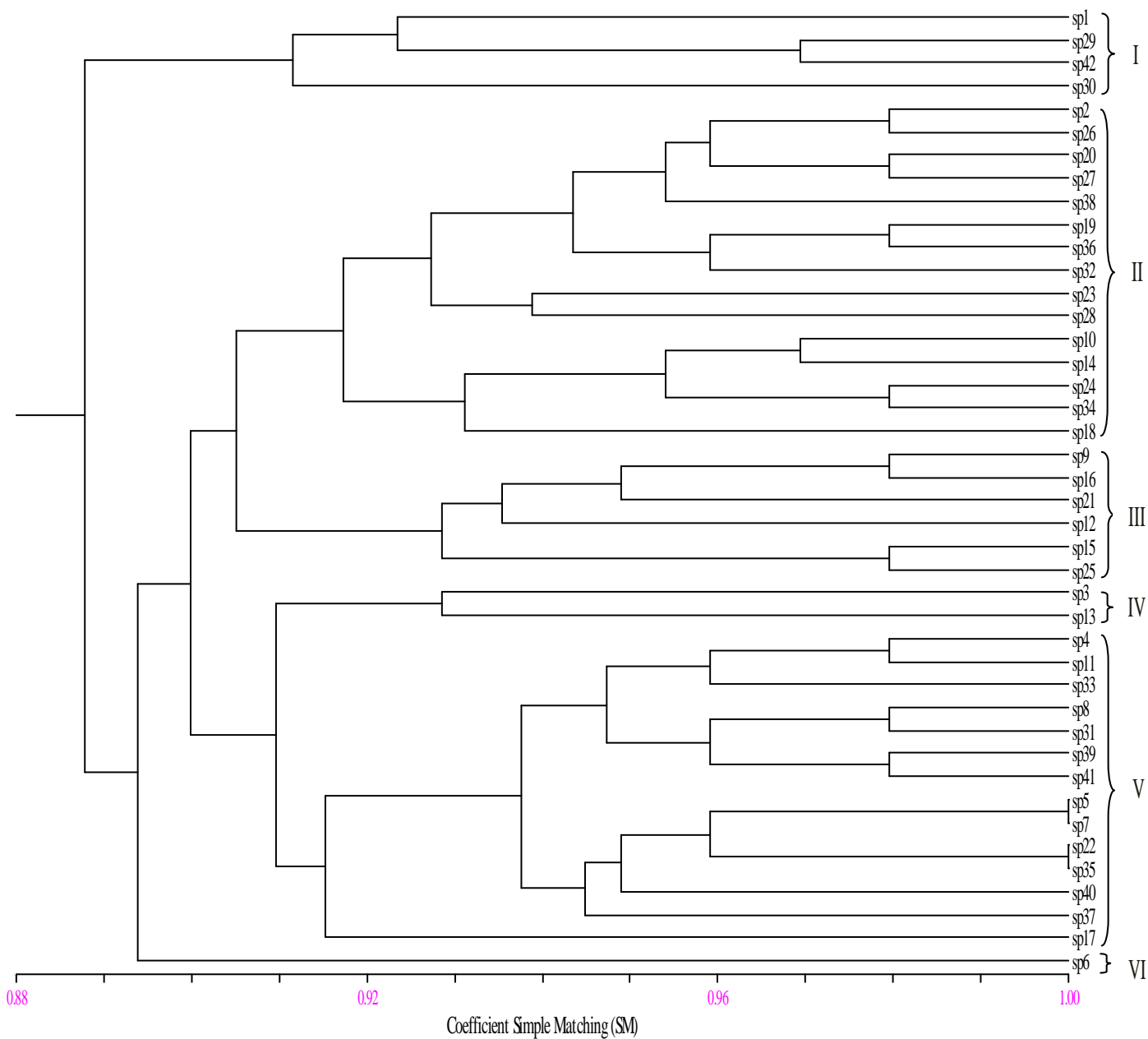
Analisis Similaritas Bakteri Lokasi Ladang Ubi Kayu. Analisis klustering terhadap 42 isolat bakteri yang terdiri dari 98 karakter morfologi, fisiologi dan biokimia menghasilkan dendrogram dengan koefisien kemiripan *Simple Matching* (SM) berkisar antara 89 sampai 100% atau terdapat keanekaragaman morfologi sebesar 0 sampai 11% (Gambar 1). Pada koefisien kemiripan 91% dihasilkan enam kelompok utama yaitu kelompok I terdiri atas 4 isolat. Kelompok II terdiri atas 15 isolat. Kelompok III terdiri atas 6 isolat. Kelompok IV terdiri atas 2 isolat. Kelompok V terdiri atas 14 isolat. Kelompok VI terdiri atas 1 isolat.

Analisis Similaritas Bakteri Lokasi Lahan Gambut Habis Terbakar. Analisis klustering terhadap 38 isolat bakteri yang terdiri dari 100 karakter morfologi, fisiologi dan biokimia menghasilkan dendrogram dengan koefisien kemiripan *Simple Matching* (SM) berkisar antara 86 sampai 100% atau terdapat keanekaragaman morfologi sebesar 0 sampai 14% (Gambar 2). Pada koefisien kemiripan 89% dihasilkan empat kelompok utama yaitu kelompok I terdiri atas 11 isolat. Kelompok II terdiri atas 19 isolat. Kelompok III terdiri atas 4 isolat. Kelompok IV terdiri atas 4 isolat.

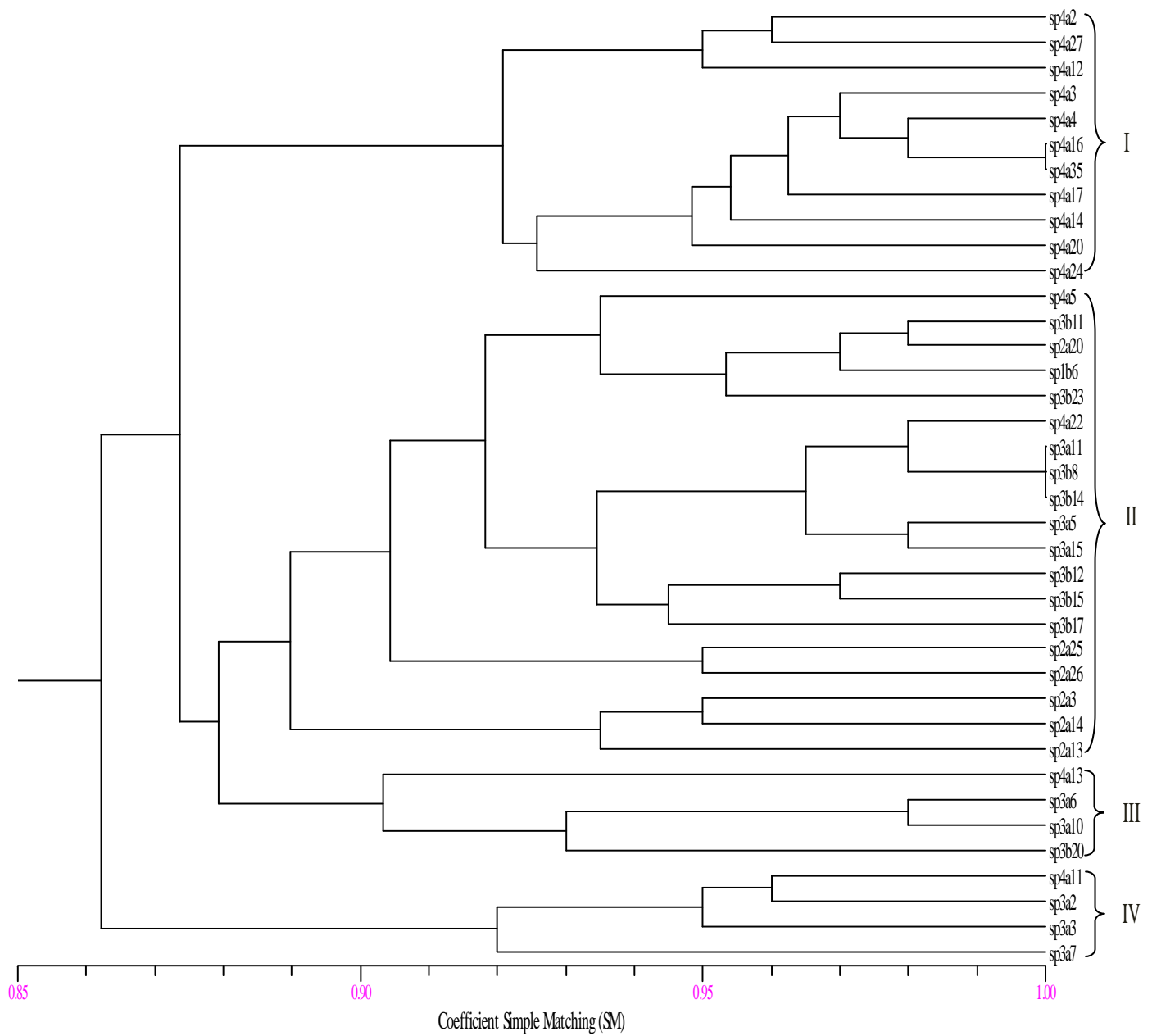
Analisis Similaritas Bakteri Lokasi Hutan Akasia. Analisis klustering terhadap 6 isolat bakteri yang terdiri dari 99 karakter morfologi, fisiologi dan biokimia dendrogram dengan koefisien kemiripan *Simple Matching* (SM) berkisar antara 86 sampai 98% atau terdapat keanekaragaman morfologi sebesar 2 sampai 14% (Gambar 3). Pada koefisien kemiripan 89% dihasilkan 2 kelompok utama yaitu kelompok I terdiri atas 5 isolat. Kelompok II terdiri atas 1 isolat.

Analisis Similaritas Bakteri Dari Tiga Lokasi. Analisis klustering terhadap 86 isolat bakteri yang terdiri dari 96 karakter morfologi, fisiologi dan biokimia dendrogram dengan koefisien kemiripan *Simple Matching* (SM) berkisar antara 85% sampai 100% atau terdapat keanekaragaman morfologi sebesar 0 sampai 15% (Gambar 4). Pada koefisien kemiripan 88% dihasilkan lima kelompok utama yaitu kelompok I terdiri atas 44 isolat. Kelompok II terdiri atas 29 isolat, kelompok III terdiri atas 5 isolat, kelompok IV terdiri atas 4 isolat dan kelompok V terdiri atas 2 isolat.

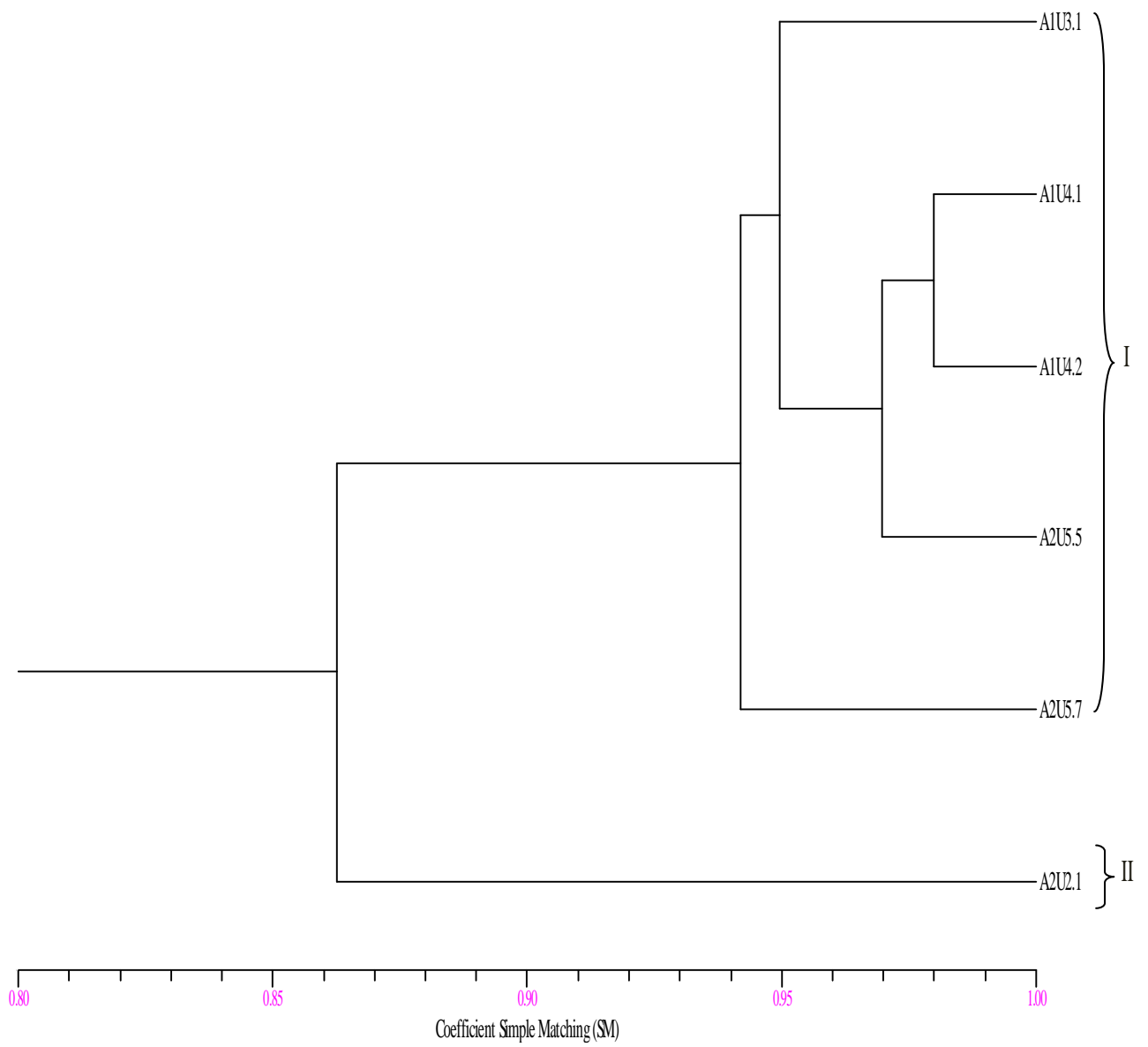
Hasil analisis kluster berdasarkan kemiripan morfologi, fisiologi dan biokimia bakteri mampu memisahkan 86 isolat asal Cagar Biosfer GSK-BB tetapi tidak semua dapat mengelompok berdasarkan asalnya. Terpisahnya hubungan kekerabatan isolat bakteri asal Cagar Biosfer GSK-BB yaitu sp3a_7 dan A₂U_{2.1} dengan isolat bakteri lainnya pada koefisien kemiripan 85% disebabkan oleh adanya beberapa karakter bakteri yang sama-sama dimiliki oleh isolat bakteri sp3a_7 dan A₂U_{2.1} dibanding isolat bakteri lainnya. Persamaan karakter-karakter bakteri yang dimiliki oleh isolat bakteri sp3a_7 dan A₂U_{2.1} yaitu, warna koloni, bentuk morfologi sel dan sifat nonmotil. Karakter bakteri yang menyebabkan kekerabatan antar bakteri di Cagar Biosfer GSK-BB pada koefisien kemiripan 85% adalah karakter bentuk koloni, ukuran koloni, elevasi koloni, tepian koloni, konsistensi, warna koloni, faktor pertumbuhan pada berbagai variasi pH, suhu dan konsentrasi NaCl, morfologi sel, sifat motilitas dan analisis biokimia.



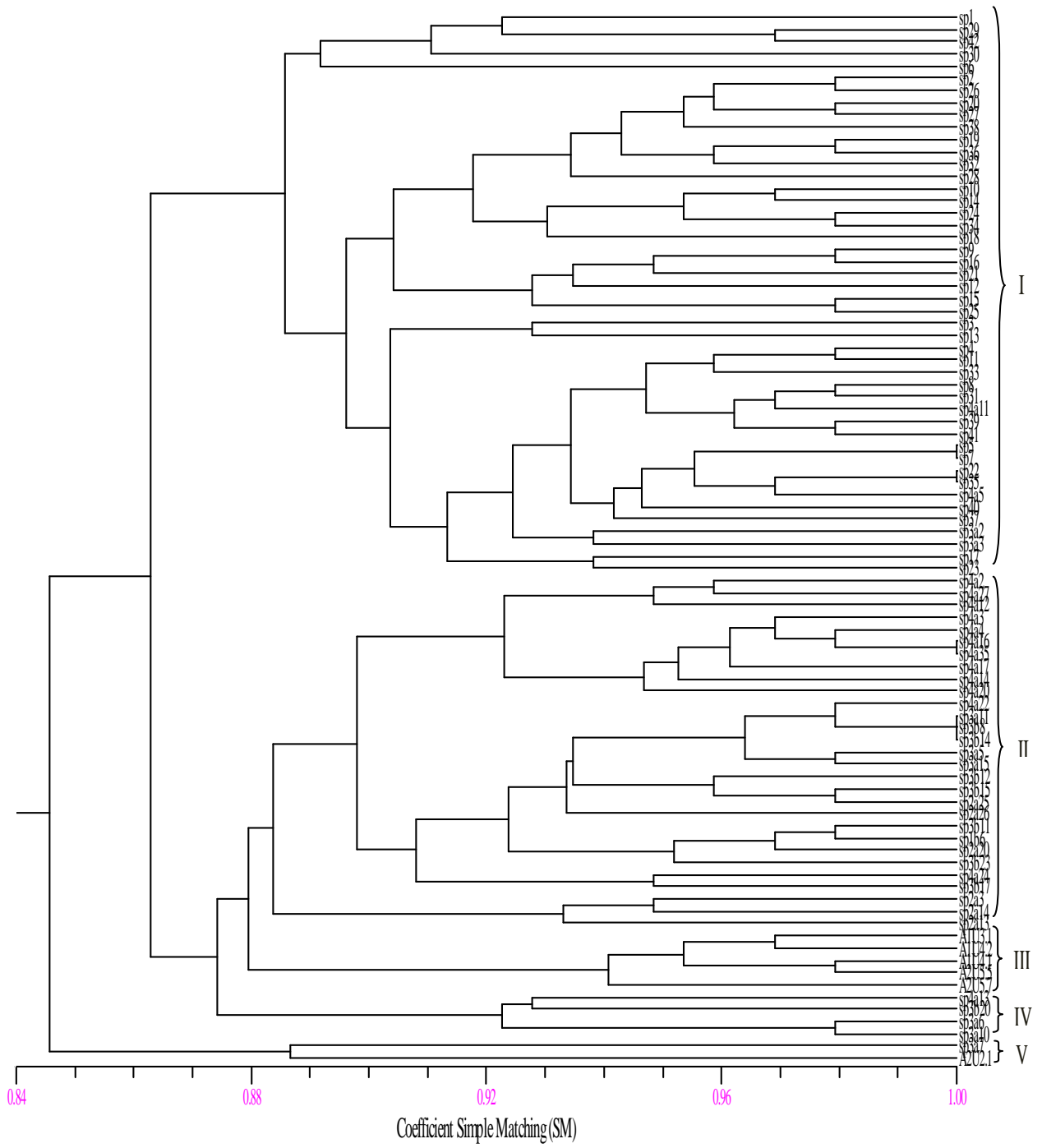
Gambar 1. Dendogram 42 isolat bakteri lokasi ladang ubi kayu asal Cagar Biosfer GSK-BB



Gambar 2. Dendogram 38 isolat bakteri lokasi lahan gambut habis terbakar asal Cagar Biosfer GSK-BB



Gambar 3. Dendogram 6 isolat bakteri lokasi hutan akasia asal Cagar Biosfer GSK-BB



Gambar 4. Dendrogram 86 Isolat Bakteri Dari Tiga Lokasi Asal Cagar Biosfer GSK-BB

Indeks Keanekaragaman dan Kemerataan Bakteri Asal Cagar Biosfer GSK-BB. Indeks keanekaragaman dan indeks kemerataan bakteri asal Cagar Biosfer GSK-BB pada lokasi ladang ubi kayu, lahan gambut habis terbakar dan hutan akasia seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Indeks keanekaragaman dan kemerataan bakteri tanah pada berbagai lokasi di Cagar Biosfer GSK-BB

Lokasi	H'	E
Hutan Sekunder	3,62	0,98
Kebun Ubi Kayu	3,67	0,98
Lahan Bekas Terbakar	3,51	0,96
Hutan Akasia	1,56	0,87
Kebun Sawit	2,61	0,96
Kebun Karet	1,95	1

Keterangan: H' = indeks keanekaragaman dan E = indeks kemerataan

Indeks keanekaragaman bakteri asal Cagar Biosfer GSK-BB berkisar antara 1,56 hingga dan 3,67. Nilai indeks keanekaragaman pada lokasi hutan akasia tergolong sedang yaitu 1,56. Berdasarkan Kusmana *dalam* Yunasfi (2006) indeks keanekaragaman rendah jika nilainya $H' < 1$, sedang jika nilainya $H' 1-3$ dan tinggi jika nilainya $H' 3 >$. Dari data, tampak kecendrungan bahwa lokasi yang telah mengalami alih fungsi lahan mengalami penurunan keanekaragaman, terutama pada lokasi hutan akasia, kebun sawit dan kebun karet. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya, dimana nilai indeks keanekaragaman bakteri pada ekosistem yang dianggap kontrol bernilai 4.33, namun setelah ekosistem terkontaminasi seng nilai H' turun menjadi 3.91 (Hill *et al.* 2003).

Menurut Barbour *et al.* (1987), indeks keanekaragaman spesies merupakan informasi penting tentang suatu komunitas. Semakin luas areal sampel dan semakin banyak spesies yang dijumpai, maka nilai indeks keanekaragaman spesies cenderung akan lebih tinggi. Nilai indeks keanekaragaman yang relatif rendah umum dijumpai pada komunitas yang telah mencapai klimaks. Menurut Grey dalam Nasution (1995) nilai keanekaragaman dipengaruhi oleh kompetisi antar spesies akibat perubahan lingkungan dan perubahan waktu atau karena banyaknya relung ekologi dan adaptasi mekanisme (Dykhuisen 1998) yang disebabkan oleh tingginya fungsional kelimpahan bakteri tanah (Griffiths *et al.* 2001). Keanekaragaman spesies sendiri juga erat kaitannya dengan kondisi fisika dan kimia tempat hidupnya. Nilai indeks keanekaragaman menunjukkan tingkat kestabilan suatu komunitas (Carriker 1967).

Dari Tabel 2 juga dapat dilihat bahwa nilai indeks kemerataan jenis bakteri tanah di GSK-BB tergolong tinggi. Hasil nilai dari indeks kemerataan jenis bakteri tanah di GSK-BB yaitu berkisar antara 0,87 – 1. Berdasarkan Krebs (1978) indeks keragaman rendah jika nilainya $0 < 0,4$, sedang jika nilainya $0,4 < E < 0,6$ dan tinggi jika nilainya $E > 0,6$. Perbedaan pada setiap lokasi penelitian sangat kecil, dengan demikian spesies bakteri yang hidup pada kondisi lingkungan yang berbeda relatif sama ditinjau dari aspek jumlah spesies dan penyebaran bakteri dalam komunitas tersebut (Krebs 1978). Jika dibandingkan dengan peneliti sebelumnya, nilai indeks kemerataan bakteri pada ekosistem yang diukur dengan komunitas bakteri H' kontrol 0,90, namun setelah tanah terkontaminasi seng nilai indeks kemerataan menjadi 0,87 (Hill *et al.* 2003).

Indeks keanekaragaman dan indeks kemerataan merupakan dua hal yang berbeda. Menurut Barbour *et al.* (1987) adakalanya kekayaan spesies berkorelasi positif dengan keanekaragaman spesies, namun kondisi lingkungan di sepanjang wilayah penelitian bersifat

homogen, sehingga penurunan kekayaan spesies dapat disertai dengan penurunan keanekaragaman. Hal ini sangat tidak memungkinkan karena jumlah individu pada setiap lokasi tidak bervariasi. Kemerataan akan menjadi minimum dan heterogen jika semua spesies mempunyai jumlah individu yang berbeda pada setiap lokasi penelitian. Fenomena demikian sangat jarang terjadi di alam, karena setiap spesies mempunyai kemampuan untuk beradaptasi dan toleransi, serta pola sejarah hidup (*life history pattern*) yang berbeda-beda.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa karakter morfologi, fisiologis dan biokimia yang dimiliki bakteri tanah asal Cagar Biosfer GSK-BB bervariasi, akan tetapi cenderung mengelompok berdasarkan asal isolat. Indeks keanekaragaman berkisar antara 1,56 - 3,67, yang berarti keadaan ekosistem gambut asal Cagar Biosfer GSK-BB dikategorikan sedang dan tinggi dengan kecenderungan penurunan indeks pada lokasi yang telah mengalami alih fungsi lahan. Indeks kemerataan berkisar antara 0,87-0,98, yang berarti penyebaran bakteri tanah gambut asal Cagar Biosfer GSK-BB dikategorikan dalam keragaman tinggi.

Perlu dilakukan aplikasi metode mikrobiologi terpilih dalam monitoring kualitas tanah gambut pada beberapa lokasi lain untuk menguatkan kesimpulan yang diperoleh. Selain itu, isolate-isolat indigenous yang diperoleh perlu untuk dianalisis lebih lanjut sehingga dapat digunakan lebih lanjut sebagai agen biofertilizer dan kompos.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan pada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Kompetitif Sesuai Prioritas Nasional Batch II; BBKSDA Provinsi Riau yang telah memberi izin untuk pengambilan sampel tanah di area inti; serta PT. Sinar Mas Forestry yang telah memberi izin untuk pengambilan sampel tanah di lokasi Hutan Tanaman Industri milik perusahaan, penyediaan akomodasi dan pendampingan selama di lapangan. Terima kasih juga diucapkan pada Saudara Ari Rosadi dari Divisi Flagship PT. Sinar Mas Forestry dan penduduk setempat yang banyak membantu dalam proses pengambilan tanah.

Daftar Pustaka

- Ardi. 2002. *Pengamatan Makrozoobenthos Sebagai Indikator Kualitas Perairan Pesisir*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Barbour, G.M., Burk J.K. and Pitts, W.D. 1987. *Terrestrial Plant Ecology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. New York
- Buckley, D.H. and Schmidt, T.M. 2001. The structure of soil microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology* 42: 11-21
- Carriker, M.R. 1967. Ecology of Estuarine Benthic Invertebrates *In* G.H. Lauff (eds) *Estuaries* Americans Association For Advantage of serene. Washington D.C
- Dykhuizen, D.E. 1998. Santa Rosalia revisited: why are there so many species of bacteria. *Antonie Leeuwenhoek* 73:25-33

- Griffiths, R.I., Ritz, K., Wheatley, R., Kuan, H.L., Boag, B., Christensen, S., Ekelund, F., Sørensen, S.J., Muller, S., and Bloem, J. 2001. An examination of the biodiversity - ecosystem function relationship in arable soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 33:1713–1722
- Hadioetomo, R.S. 1993. *Mikrobiologi Dasar Dalam Praktek*. Jakarta. PT. Gramedia.
- Hill, T.C.J., Walsh, K.A., Harris, J.A., and Molett, B.F. 2003. *Using Ecological Diversity Measures with Bacterial Communities*. School of Health and Bioscience, University of East London, Romford Road, Stratford, London.
- Ludwig, J.A. and Reynolds, J.F. 1988. *Statistical Ecology a Primer on Methods and Computing*. John Wiley and Sons, New York.
- Krebs, C.J. 1978. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. New York: Harper & Row Publisher
- Nasution, S., Rifardi, dan Erianhuri. 1995. Komposisi dan Keanekaragaman Makrozoobenthos Pantai Tanjung Jaring Pulau Rupa Riau. Pekanbaru. Laporan Penelitian Fakultas Perikanan Universitas Riau. 48 hal (tidak diterbitkan).
- Odum, E.P. 1996. *Dasar-Dasar Ekologi*. Edisi Ketiga. Terjemahan Tjahjono Samingan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Puspitasari, I.M., Hendriani, R., dan Kusuma, S.A.F. 2009. Pencarian Bakteri Tanah Penghasil Enzim Protease Dari Gunung Gede Cianjur. Fakultas Farmasi Universitas Padjadjaran Bandung
- Sembiring, T. dan Fachmiasari, S.A. 2004. Kombinasi ekstrak kedelai dengan tepung jagung tapioka sebagai media produksi kristal dan spora *Bacillus thuringiensis*. *Teknologi Indonesia* 27: 33-49
- Sri, P. 2002. Isolasi dan Seleksi *Azotobacter* spp. Penghasil Faktor Tumbuh dan Penambat Nitrogen dari Tanah Masam. Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Yunasfi, 2006. Dekomposisi Serasah Daun *Avicennia marina* oleh Bakteri dan Fungi pada Berbagai Tingkat Salinitas. (Disertasi), Program Studi Ilmu Pengetahuan Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Zul, D., S. Denzel, and J. Overmann. 2007. Effect of plant diversity and water content on the bacterial communities in soil lysimeters: Implications for the determinant of bacterial diversity. *Applied Environmental Microbiology* 73: 6916