

Analisis Variasi Geografis Pola Hujan di Wilayah Papua

Geographic Variation Analysis of Rainfall Pattern in Papua Region

Aser Rouw^{1*}, Tri Wahyu Hadi², Bayong Tjasyono H.K.², Safwan Hadi³

¹ Program Studi Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

² Program Studi Meteorologi, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

³ Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 29 April 2014

Disetujui: 25 Mei 2014

Kata kunci:

Pola hujan

Variasi

Geografis

Papua

Keywords:

Rainfall pattern

Variation

Geographic

Papua

Abstrak. Studi ini menekankan pada sejauh mana aspek variasi geografis pola hujan di wilayah Papua berdasarkan terminologi pola hujan monsun (A), ekuatorial (B), dan lokal (C) yang telah dikaji secara saintifik dan digunakan dalam operasional prakiraan musim di Indonesia. Analisis dilakukan pada data rata-rata curah hujan bulanan dari 362 stasiun penakar hujan di seluruh wilayah Papua mulai dari tahun 1901-2010 dengan panjang pengamatan 5-100 tahun menggunakan analisis PCA, *cluster* dan analisis spasial. Ditemukan 21 *cluster* variasi pola hujan di wilayah Papua, yaitu: (i) pola monsun A dengan variasi pola, A1, A2, A3, A4, A5, dan A6, (ii) pola hujan ekuatorial B dengan variasi B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, dan B10, serta (iii) pola hujan lokal C dengan variasi C1 dan C2. Secara geografis pola hujan tersebut bervariasi menurut tiga area geografis utama, yaitu 7 *cluster* pola hujan: A2, A3, A4, A5, B6, B7, dan B8 di dataran rendah utara; 5 *cluster* pola hujan: A1, B3, B4, B5, dan B9 di deretan pegunungan tengah; dan 9 *cluster* pola hujan: A, A6, B, B1, B2, B10, C, C1, dan C2 di dataran rendah selatan Papua. Temuan pola hujan berimplikasi pada dua hal pokok dari sektor pertanian di wilayah Papua, yaitu pewilayahan komoditas pertanian, dan strategi budidaya pertanian dengan mempertimbangkan keadaan klimatologis pola hujan serta variabilitas temporalnya.

Abstract. This study emphasizes on the variation aspects of the geographical rainfall patterns in the Papua region based on the terminology of the A, B, and C rainfall patterns in Indonesian archipelago that have been scientifically assessed and used in seasonal forecasting in Indonesian. Analyses were performed on an average monthly rainfall of 362 rain gauges with the distributed observation length of 5 to 100 years (from 1901 to 2010) using PCA, cluster, and spatial analyses. It was found that there were 21 clusters of rainfall patterns in the Papua region. Variation patterns of the monsoon A rainfall: A1, A2, A3, A4, A5, and A6; the equatorial rainfall pattern B: B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, and B10, and the local rainfall patterns C: C1 and C2. Geographically, the rainfall patterns vary according to three main areas, namely seven clusters in the northern lowlands: A2, A3, A4, A5, B6, B7, and B8; 5 clusters in the central mountain range: A1, B3, B4, B5, and B9; and 9 clusters in the southern lowlands: A, A6, B, B1, B2, B10, C, C1, and C2. The findings of the rainfall patterns have implications for two major issues of the agricultural sector, viz., zoning of agricultural commodities, and planting strategy by considering the state of climatological rainfall patterns and its temporal variabilities.

Pendahuluan

Pola hujan adalah aspek distribusi curah hujan terkait dengan sistem pengontrol reguler, yaitu monsun, ITCZ (*inter-tropical convergence zone*) ataupun keadaan radiasi maksimum matahari berkaitan dengan posisi matahari dua kali dalam setahun di ekuator, dan sirkulasi lokal di suatu wilayah. Sehingga pola hujan merupakan dasar saintifik dalam prakiraan musim dan aplikasinya pada berbagai sektor pembangunan. Namun demikian, informasi pola hujan dalam skala ruang di wilayah kepulauan Indonesia

masih sangat jarang menggambarkan sejauh mana variasi pola hujan di suatu wilayah. Meskipun pola hujan di kepulauan Indonesia telah dilaporkan oleh Boerema (1938) dengan menjelaskan tiga faktor pengontrol pola hujan di Indonesia, yaitu: (i) monsun, (ii) ekuatorial (*the equatorial double rainy season*), dan (iii) pengaruh lokal (defleksi pegunungan dan pemanasan secara lokal). Akan tetapi, kajian saintifik baru dimulai oleh Aldrian (1999, 2001, 2003) dengan pendekatan *double* korelasi mengkonfirmasi hasil Boerema dan memetakan tiga pola hujan di wilayah Indonesia, yaitu pola monsun (A), pola semi-monsun (B), dan pola lokal (C). Pola semi-

* Corresponding author: aserrouw@gmail.com

monsunal (B) adalah juga pola ekuatorial atau pola dua puncak curah hujan maksimum terkait dengan pergerakan ITCZ yang melewati ekuator dua kali dalam setahun membentuk siklus enam bulanan (*semi-annual*) yang secara proses bersamaan di dalam sistem monsun, sehingga disebut sebagai semi-monsun yang terjadi pada periode Maret-Mei (MAM) dan September-November (SON). Sedangkan sirkulasi monsun di kepulauan Indonesia berkaitan dengan distribusi curah hujan kuat di periode monsun baratan dari Asia melalui laut China Selatan dan Samudera Pasifik barat pada periode Desember-Februari (DJF) dan rendah ketika berbalik arah dari Benua Australia pada periode Juni-Agustus (JJA), sehingga membentuk siklus 12 bulanan (*annual*). Sedangkan pola lokal (C) adalah pola distribusi curah hujan yang berkebalikan dengan pola monsun, yang mana pada periode JJA pola C mencapai curah hujan maksimum. Terminologi pola hujan monsun (A), ekuatorial (B), dan lokal (C) pada tataran operasional dipakai oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dalam penentuan zona musim (ZOM) di Indonesia.

Meskipun demikian, pola hujan di kepulauan Indonesia mengalami variasi yang kuat, akibat distribusi laut dan topografi yang berperan memodifikasi sistem reguler monsun dan menghasilkan pola hujan yang spesifik. Hal ini teridentifikasi dalam penelitian Chang *et al.* (2005) dengan pendekatan fungsi matematis sinusoidal, penelitian tersebut mempelajari siklus hujan *annual* (tahunan) dan *semi-annual* (setengah tahunan) di kawasan benua Maritim, meliputi Indocina, semenanjung Malaysia, kepulauan Filipina dan kepulauan Indonesia. Hasil analisis menunjukkan adanya siklus lain dari siklus hujan *annual* dan *semi-annual*, seperti kasus di area geografis 3°LS, 135,5°BT wilayah Papua. Menurut penelitian tersebut modifikasi siklus *annual* dan *semi-annual* terjadi akibat selter pegunungan dan angin laut secara langsung ke dalam wilayah daratan. Sehingga Chang *et al.* (2005) menyimpulkan bahwa area belt ekuatorial 5°LU-5°LS di kepulauan Indonesia adalah area di mana terjadi modifikasi siklus hujan *annual* dan *semi-annual* secara kuat. Gambaran variasi pola hujan juga diperlihatkan di Borneo dalam penelitian Dambul dan Jones (2008) dengan pendekatan analisis komponen utama (*principal*

component analysis/PCA) dan analisis *cluster* berhasil memetakan pola hujan utama A, B, C, dan sub pola yang merupakan variasi dari pola utama, yaitu menjadi A1, A2, B1, B2, C1, dan C2. Keadaan yang relatif sama diduga terjadi di wilayah Papua, karena wilayah ini sangat bervariasi dalam aspek topografi yang mencapai lebih dari 4.000 m di atas permukaan laut (dpl). Kondisi demikian sangat berperan memodifikasi sistem reguler monsun dan menghasilkan variasi pola hujan yang spesifik. Oleh karena itu, kajian ini dilakukan untuk memahami variasi geografis pola hujan di wilayah Papua. Informasi ini menambah masukan pengetahuan variasi pola hujan dalam skala ruang di kepulauan Indonesia sekaligus mendukung aplikasi pembangunan khususnya di wilayah Papua.

Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di laboratorium Meteorologi Institut Teknologi Bandung (ITB), berlangsung dari awal Januari hingga Juli 2013. Fokus analisis meliputi variasi pola hujan di wilayah Papua daratan dan kepulauan.

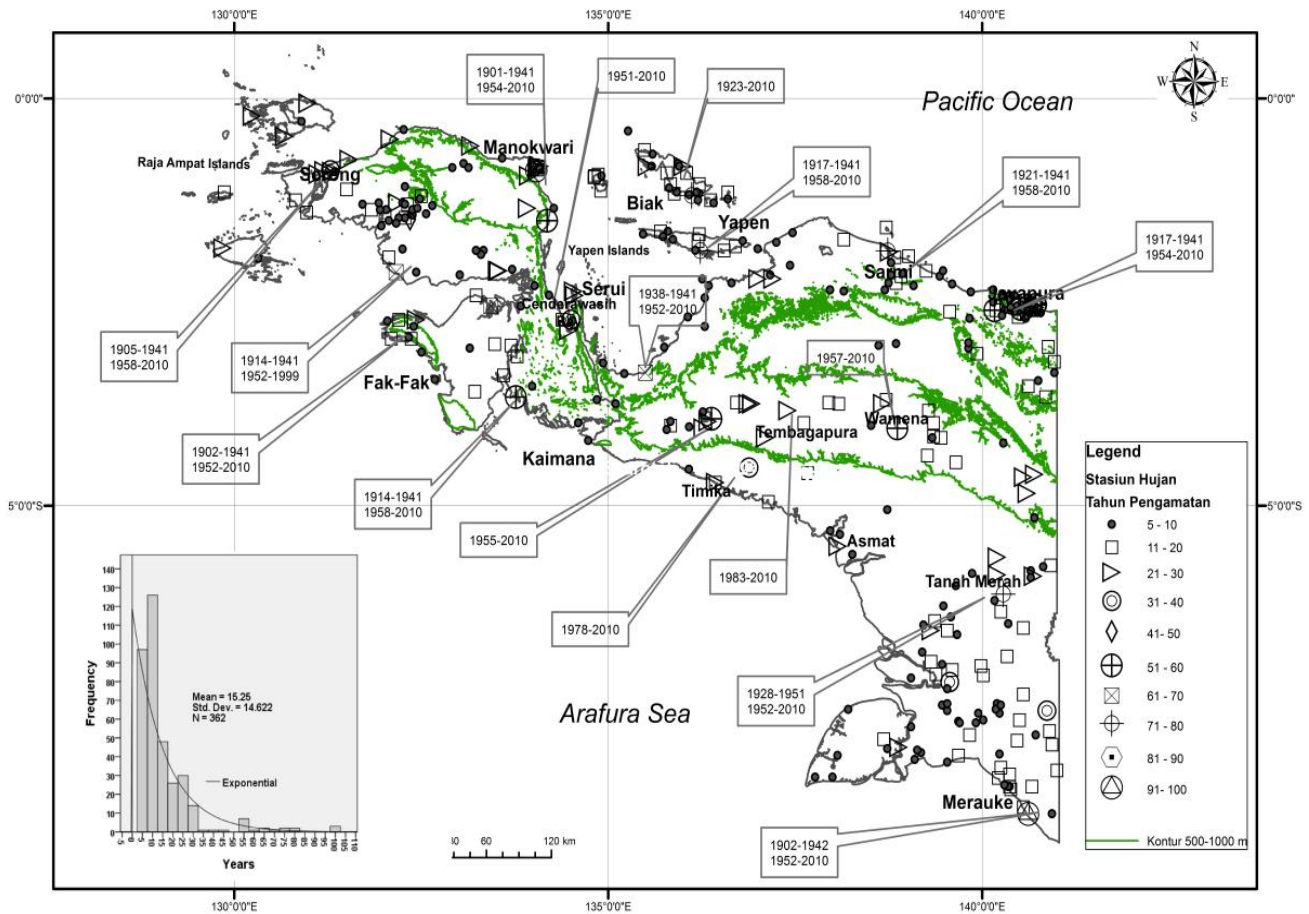
Data

Penelitian menggunakan data curah hujan bulanan sebanyak 362 stasiun penakar curah hujan atau sebanyak (45%) dari total 802 stasiun penakar curah hujan di wilayah Papua daratan dan kepulauan. Periode pengamatan mulai dari tahun 1901-2010, dengan panjang pengamatan 5 sampai dengan 100 tahun. Data bersumber dari BMKG yang terdokumentasi dalam beberapa dokumen secara terpisah (Tabel 1). Data tersebut memiliki data kosong di bawah 10%, dan representasi spasial yang memadai terhadap kondisi topografi wilayah Papua (Gambar 1). Seri data sebelum tahun 1921 telah digunakan oleh Braak (1921) memetakan curah hujan bulanan dan tahunan Pulau New Guinea, dan Boerema (1938) dengan memetakan delapan variasi pola hujan di wilayah Papua. Selanjutnya Brookfield dan Hart (1966) memetakan rata-rata curah hujan bulanan dan tahunan di Papua. Selain data curah hujan bulanan, penelitian menggunakan peta dasar wilayah Papua serta keadaan topografi wilayah Papua yang diekstrak dari DEM (*digital elevation map*) untuk menganalisis susunan ruang dari variasi pola hujan di wilayah penelitian.

Tabel 1. Sumber data curah hujan dan periode pengamatannya di wilayah Papua

Table 1. Source of rainfall data and the period of observation in Papua region

No.	Sumber data	Periode
1.	Meteorologisch en Geofysisch Bureau Hollandia	1901-1942, 1952-1957
2.	BMG Irian Jaya, Sukarnopura, Jayapura (lembar publikasi 2-46)	1957-1981
3.	BMG (BMKG) Balai Wilayah V Papua	1981-2010



Gambar 1. Distribusi spasial 362 stasiun penakar hujan dan periode pengamatan hujan di wilayah Papua (1901-2010)

Figure 1. Spatial distribution of 362 rain gauges and observation periods of rainfall in Papua region (1901-2010)

Metode analisis

Analisis komponen utama

Analisis komponen utama digunakan untuk: (i) mereduksi *noise* pada data curah hujan dan (ii) mendapatkan pola asli (utama) curah hujan untuk meng-capture struktur cluster (Dambul and Jones 2008; Kolivras and Comrie 2007). Pola asli curah hujan bulanan didefinisikan melalui nilai variansi asli (utama) data curah hujan yang diterangkan oleh beberapa komponen utama (*principal component*, PC) dengan sumbangan sebesar 80-90% dari total variansi data (Jolliffe 1986,1990; Dambul and Jones 2008). Nilai ini digambarkan oleh *scree plot*, yaitu nilai eigen vs PC, dimana beberapa PC dengan karakter *magnitudo* yang besar diperlihatkan oleh *slope* kurva yang tajam. Jumlah maksimum PC yang diterima adalah pada titik dimana kurva mulai mendatar, yang berarti meningkatnya jumlah PC tidak dapat lagi menambah signifikansi presentase dari variansi yang terjelaskan (Jolliffe 1986, 1990; Dambul and Jones 2008). Pada umumnya dua PC pertama dari suatu set data curah

hujan sudah cukup untuk menjelaskan variansi asli (Dambul and Jones 2008). PC1 menghitung sejumlah besar kemungkinan variansi data curah hujan, dan PC2 menghitung maksimum sisa setelah terjelaskan oleh PC1. Prosedur PCA diringkas dari Manly (1986), Chatfield dan Collins (1980), dan Wilks (1995), adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung matriks korelasi, R, dari seri data rata-rata curah hujan bulanan seluruh stasiun (n) :

$$R = (x'x)/(n - 1) \dots\dots\dots (1)$$
 - b. Menghitung nilai *eigen*, λ:

$$|R - \lambda_j I| \dots\dots\dots (2)$$
 - c. Menghitung *eigen vector*, A:

$$|R - \lambda_j I| a_j = 0 \dots\dots\dots (3)$$
 - d. Menghitung faktor *loading*:

$$L_{i,j} = A \lambda_j^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$
 - e. Menghitung skor PC dari faktor *loading*:

$$\text{Skor PC} = L.T \dots\dots\dots (5)$$
- dimana T adalah sebuah matriks orthogonal yang mempunyai karakter $T' T = I$ (matriks identitas).

Analisis Cluster

Analisis *cluster* (*cluster analysis*) digunakan untuk mengelompokkan 362 stasiun penakar curah hujan berdasarkan kesamaan pola yang didefinisikan oleh beberapa PC (Dahni and Ebert 1998; Kidson 2000; Dambul and Jones 2008). Teknik analisis *cluster* hirarki digunakan dalam analisis ini untuk menghindari subyektivitas penentuan kelompok. Jumlah sampel yang besar sulit terbaca dalam satu dendrogram, akan tetapi dengan teknik ini, dapat dilakukan pemisahan obyek *cluster* dalam beberapa grafik tanpa merubah struktur *cluster* atau dengan teknik menyusun anggota *cluster* optimal yang terbaca pada grafik pada menu susunan anggota *cluster* melalui proses analisis. Oleh karena itu, teknik ini dipilih untuk menyusun formasi *cluster*. Metode umum *eucledean distance* digunakan untuk menghitung jarak antar dua stasiun (d_{ij}) berdasarkan nilai skor PC yang diterima. Sedangkan marger G+1 grup menjadi G grup dilakukan dengan metode *Ward's minimum variance* yang menghasilkan minimum jarak antar stasiun dengan pusat grup (Wilks 1995), sebagai berikut:

$$d_{ij} = \| X_i - X_j \| = [\sum_{k=1}^K (X_{i,k} - X_{j,k})^2]^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

$$W = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \| X_i - \bar{X}_g \|^2 = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{k=1}^K (X_{i,k} - \bar{X}_{g,k})^2 \dots (7)$$

dimana:

- d_{ij} = Beda nilai curah hujan antara dua stasiun penakar curah hujan
- x = Nilai curah hujan bulanan
- K = Total pengamatan (total stasiun penakar curah hujan)
- W = Jarak minimum (beda nilai minimum) antar stasiun penakar curah hujan dan pusat grup
- G = *Cluster*
- n = Jumlah *cluster*
- \bar{x}_g = Nilai rata-rata pusat grup

Jumlah *cluster* pola hujan optimal diperoleh melalui plot antara urutan jumlah *cluster* vs jarak *cluster*. Jumlah *cluster* optimal ditentukan pada titik dimana kurva hubungan mulai mendatar (Aldenderfer and Blashfield 1984). Keluaran hasil analisis *cluster* selanjutnya diplot pada peta topografi dengan program ArcGIS versi 10 untuk memahami variasi geografis pola hujan di wilayah penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi pola hujan

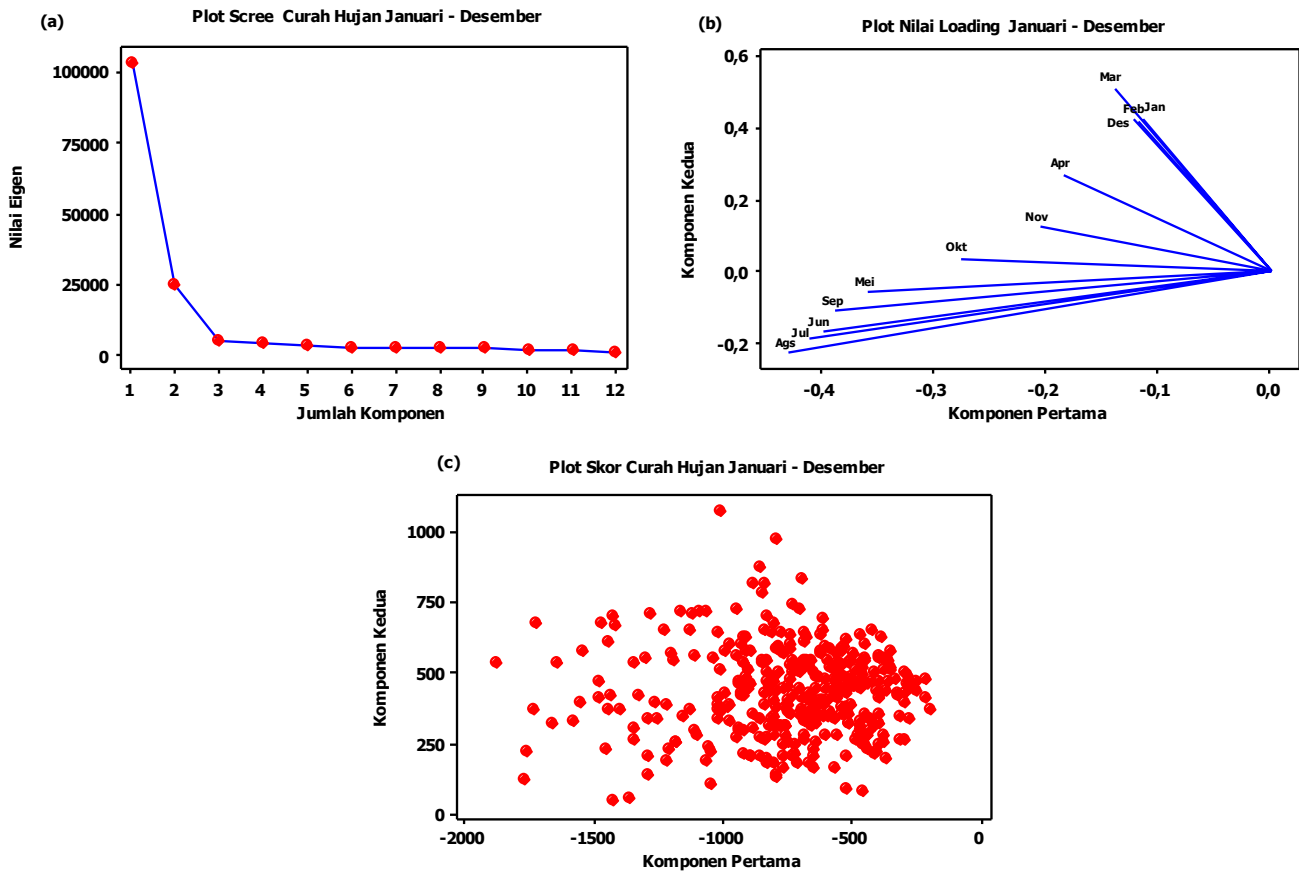
Pola hujan dari 362 stasiun hujan di wilayah Papua dijelaskan oleh dua komponen utama (PC) yang diputuskan berdasarkan dua kriteria utama, yaitu: (i)

secara kumulatif dijelaskan oleh 80-90% dari total variansi data (Jolliffe 1990), dan (ii) meliputi semua komponen yang signifikan yang teridentifikasi pada *scree plot* (Tabel 2 dan Gambar 2a). Dua komponen pertama (PC1 dan PC2) menyumbang nilai variansi terbesar 67% dan 16% atau kumulatif 83,6% dari total variansi. Setelah komponen kedua, peningkatan jumlah komponen tidak lagi menambah persentase variansi secara signifikan. Sehingga 12 variabel curah hujan Januari-Desember secara sukses dapat tergambarkan dalam dua komponen utama. Oleh karena itu, diputuskan PC1 dan PC2 dengan total nilai variansi 83,6% diterima untuk *cluster* pola hujan dari 362 stasiun penakar hujan di wilayah penelitian. Pola asli dari data curah hujan bulanan yang tertangkap pada dua komponen utama tersebut diperlihatkan pada plot nilai loading dan distribusi skor PC1 dan PC2 pada Gambar 2bc. PC1 menggambarkan pola dengan *magnitudo* terkuat, namun tidak terdistribusi merata (plot nilai loading lebih kuat terkonsentrasi di nilai negatif). PC2 memperlihatkan *magnitudo* yang lebih kecil, namun dengan pola distribusi yang relatif merata (plot nilai loading menyebar pada positif dan negatif). PC1 dibentuk oleh pola April sampai dengan November. Pola Mei sampai dengan September menunjukkan pola distribusi yang cenderung berimpit, terutama di Juni ke Agustus dengan *magnitudo* terkuat di Agustus. Sedangkan April, Oktober dan November terjadi pola distribusi yang tidak berimpit. PC2 dibentuk oleh pola periode Desember sampai dengan Maret dengan pola distribusi yang berimpit dengan *magnitudo* terkuat di Maret.

Tabel 2. Persentase variansi data curah hujan bulanan dari 362 stasiun penakar hujan di wilayah Papua berdasarkan analisis PCA

Table 2. The variant percentage of monthly rainfall data from 362 rain gauges in Papua region based on the PCA analysis

PC	Total nilai eigen	Proporsi variansi	Total variansi
	 %	
1	102,887	67,70	67,6
2	24,358	16,00	83,6
3	4,521	3,00	86,6
4	3,891	2,66	89,1
5	3,131	2,10	91,2
6	2,692	1,80	92,9
7	2,332	1,50	94,5
8	2,156	1,40	95,9
9	2,050	1,30	97,2
10	1,664	1,11	98,3
11	1,453	1,00	99,3
12	1,074	0,07	100,00



Gambar 2. Hasil analisis PCA terhadap data hujan bulanan 362 stasiun penakar hujan: (a) plot jumlah komponen vs. nilai eigen, (b) plot nilai loading, dan (c) plot nilai skor PCA

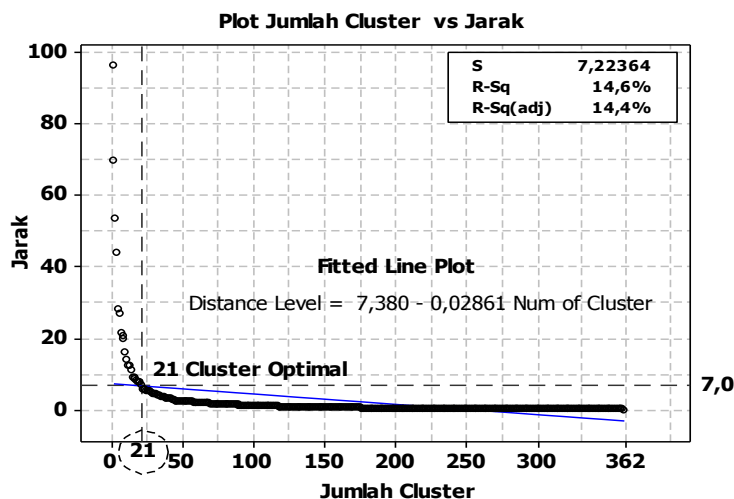
Figure 2. The results of the PCA of the data of monthly rainfall from 362 rain gauge: (a) plotting of the component number versus eigen values, (b) plotting of the value loading, and (c) PCA score plotting values

Pola asli dari hujan yang tertangkap oleh PC1 dan PC2 dikelompokkan dengan analisis *cluster*. Fokus dari pengelompokan ini adalah mendapatkan semaksimal mungkin jumlah kelompok curah hujan yang menggambarkan variasi maksimum pola hujan di wilayah penelitian. Jumlah kelompok maksimum diidentifikasi dari plotting jumlah *cluster* (number of *cluster*) vs jarak *cluster* (*distance level*). Titik kelengkungan kurva terjadi pada jarak *cluster* 7,0 dan jumlah *cluster* 21. Sehingga 21 *cluster* diterima untuk variasi pola hujan wilayah penelitian (Gambar 3). Susunan anggota *cluster* diperoleh dengan menyusun anggota *cluster* dalam proses analisis berdasarkan jumlah *cluster* 21 pada jarak 7.0. Identifikasi variasi pola hujan dari 21 *cluster* diawali dengan plot grafis rata-rata curah hujan setiap *cluster*, dan dilakukan interpretasi pola hujan berdasarkan terminologi pola hujan yang secara saintifik dan operasional telah dikenal di kepulauan Indonesia, yaitu hujan monsun (A), ekuatorial (B) dan lokal (C). Umum dipahami bahwa pola hujan monsun (A) memiliki satu maksima di Desember-Februari (DJF) dan grafik berbentuk U, pola hujan ekuatorial (B) memiliki dua maksimum di Maret-Mei

(MAM) dan September-November (SON), serta grafik berbentuk M, sedangkan pola lokal memiliki maksimum di Juni-Agustus (JJA), dengan grafik berbentuk A, berkebalikan dengan pola monsun. Dari hasil interpretasi ini, ditemukan bahwa pola hujan monsun A meliputi enam variasi pola, pola ekuatorial dengan 10 sepuluh variasi pola, dan pola lokal C dengan dua variasi pola. Masing-masing pola hujan tersebut dibedakan menjadi: (i) pola monsun A, A1, A2, A3, A4, A5 dan A6; (ii) pola ekuatorial B, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9 dan B10; serta (iii) pola lokal C, C1, dan C2 (Gambar4).

Variasi geografis pola hujan di wilayah Papua

Guna memahami variasi geografis pola hujan, maka 21 *cluster* pola hujan diplot kedalam peta topografi wilayah penelitian (Gambar 5). Secara geografis, 21 *cluster* pola hujan di wilayah Papua bervariasi menurut tiga area geografis utama, yaitu: 7 *cluster* pola hujan menggambarkan variasi pola hujan di sepanjang dataran rendah utara Papua, 5 *cluster* pola hujan menggambarkan variasi pola hujan di deretan pegunungan tengah Papua,



Gambar 3. Jumlah cluster pola hujan optimal dari 362 stasiun penakar hujan di wilayah Papua
 Figure 3. The optimal cluster of rainfall pattern number of 362 rain gauges in Papua region

dan 9 cluster pola hujan menggambarkan variasi pola hujan di sepanjang dataran rendah selatan Papua. Masing-masing cluster pola hujan dalam satu area geografis tersebut memperlihatkan bentuk perubahan pola tertentu yang saling berkaitan.

Variasi pola hujan di dataran rendah utara Papua

Dataran rendah utara Papua menunjukkan pola hujan monsun A2, A3, A4, dan A5, serta pola hujan ekuatorial B6, B7, dan B8. Pola hujan monsun memperlihatkan karakter yang berbeda dari pola monsun yang berkembang di sekitar 8-9° S kepulauan Indonesia, sebagaimana yang diperlihatkan oleh Aldrian (2001, 2003). Pola monsun ini memiliki maksimum di Maret, yaitu pada periode dimana dimulai transisi monsun baratan DJF ke MAM. Demikian juga pola hujan ekuatorial memperlihatkan distribusi pola seperti pola ekuatorial di sekitar 5°N kepulauan Indonesia (Aldrian 2001, 2003; Chang et al. 2005). Maksima kedua umumnya dipengaruhi oleh JJA, sementara di 5°N umumnya terjadi di Oktober/November (SON) dengan magnitudo yang lebih kuat dari maksima pertama di Maret/April (MAM).

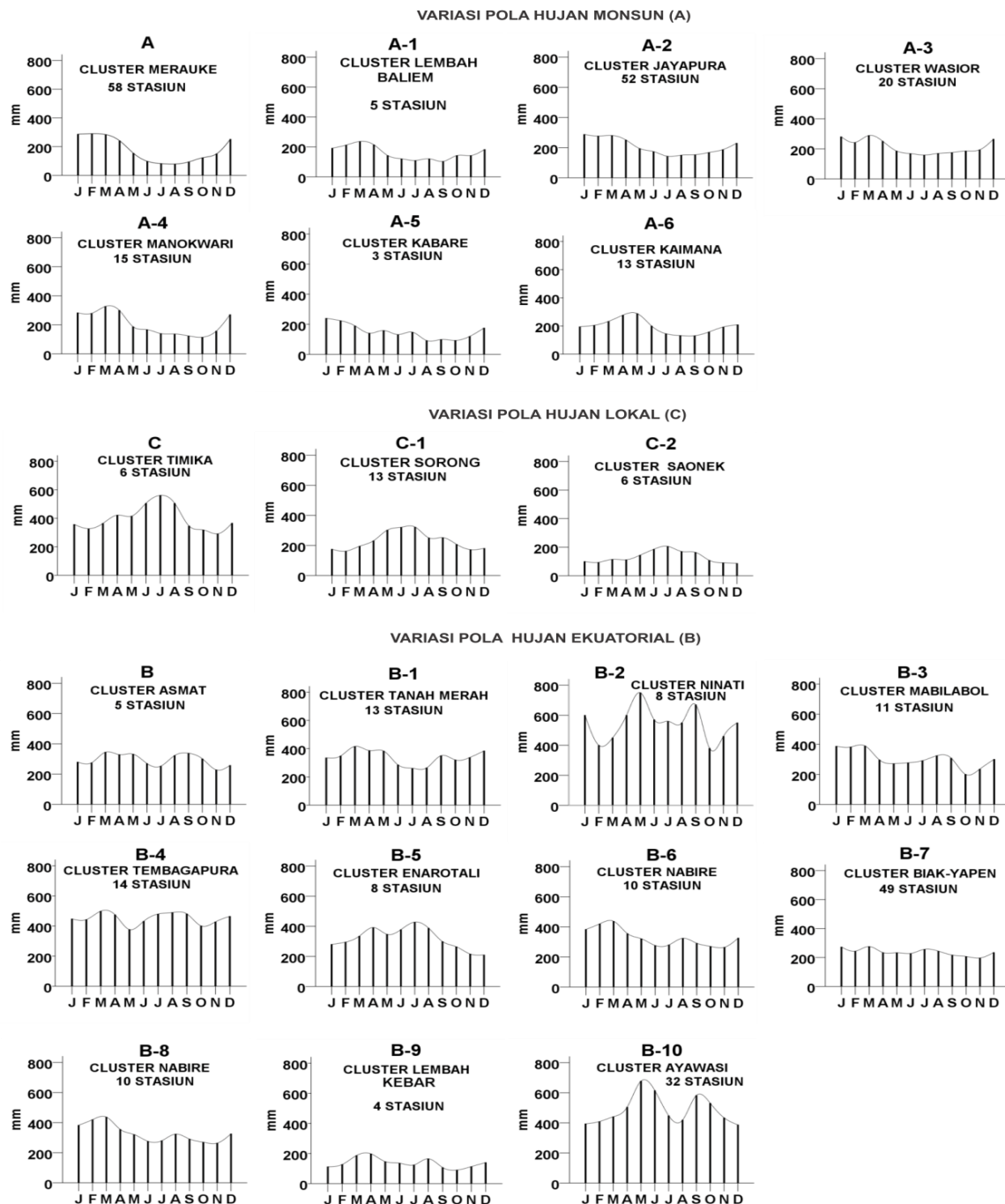
Perbedaan antara pola hujan monsun dan ekuatorial di dataran utara, terutama terkait dengan variasi magnitudo pola JJA. Pola JJA memodifikasi pola monsun dengan membentuk maksima kedua dari pola ekuatorial dengan magnitudo di bawah pola MAM. Dari arah timur pola JJA agak rendah di pola monsun A2 cluster Jayapura, dan mulai menguat di pola hujan B8 cluster Sarmi, dan meningkat membentuk maksima kedua di B7 cluster Biak-Yapen di kepulauan teluk Cenderawasih. Di dataran tengah teluk Cenderawasih pola JJA menjadi terkuat di dataran rendah utara, membentuk maksima kedua di B6 cluster Nabire. Di cluster ini magnitudo pola MAM dan DJF meningkat kuat diikuti pola SON, sehingga

membentuk maksima pertama di MAM dan memiliki magnitudo pola hujan tertinggi di dataran rendah utara. Rata-rata maksima di Maret (MAM) dan Agustus (JJA) mencapai 400 mm dan 300 mm.

Di sisi barat cluster Nabire, magnitudo pola JJA mengalami penurunan, sehingga kembali membentuk pola monsun dengan variasi A3 cluster Wasior. Area ini mencakup stasiun-stasiun di area fisiografi datar di area leher ke sisi tenggara pegunungan kepala burung, yaitu stasiun di area teluk Bintuni-Babo. Sedangkan di sisi utara pegunungan kepala burung, yaitu di pola A4 cluster Manokwari selain penurunan pola JJA juga terjadi penurunan pola SON, sehingga membentuk pola monsun yang melandai dari MAM ke SON. Pola JJA selanjutnya mengalami magnitudo yang rendah, yang juga diikuti oleh rendahnya pola DJF dan MAM di cluster Kabare dengan pola hujan A5 yang mencakup stasiun di utara pulau Waigeo, Raja Ampat, dan stasiun di sisi timur laut pegunungan kepala burung. Maksimum hujan sekitar Januari mencapai 200 mm dan magnitudo JJA di bawah 200 mm, terendah di SON.

Variasi pola hujan di deretan pegunungan tengah Papua

Deretan pegunungan tengah Papua meliputi pola hujan ekuatorial, yaitu pola B3, B4, B5 dan B9, serta pola monsun A1 dengan variasi perubahan magnitudo pola hujan yang sangat kontras. Keadaan ini menggambarkan kompleksitas respon sistem terrain pegunungan tengah Papua terhadap distribusi curah hujan yang telah dibahas oleh (Mc Alpin 1983; Prentice dan Hope 2006; Ichikawa dan Yasunari 2008). Dari sisi timur pegunungan tengah adalah pola hujan ekuatorial B3 cluster Mabilabol dengan maksima di DJF dan JJA membentuk pola yang melandai dari DJF ke SON. Keadaan ini mengalami perubahan

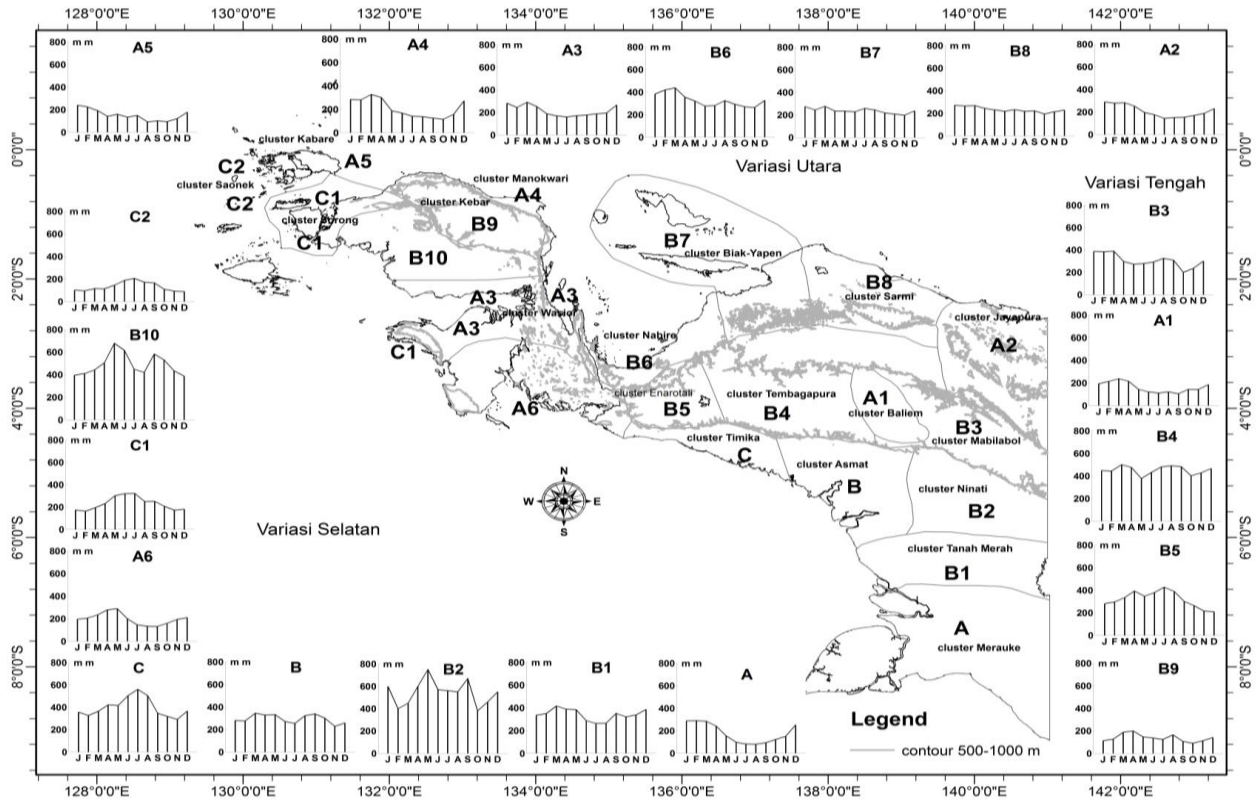


Gambar 4. *Plotting* grafis variasi pola hujan di wilayah penelitian berdasarkan hasil analisis PCA dan Cluster terhadap curah hujan bulanan 362 stasiun penakar hujan (1901-2010)

Figure 4. *Graphical plotting of rainfall pattern variations in the study areas based on the results of PCA and cluster analyses of the monthly rainfall of 362 rain gauges (1901-2010)*

signifikan di *cluster* lembah Baliem. Pada *cluster* ini terjadi penurunan signifikan dari *magnitudo* pola JJA, DJF, MAM dan SON, sehingga membentuk pola hujan monsun A1 dengan maksima di MAM dengan rata-rata *magnitudo* 200 mm bulan⁻¹. Hal ini dipahami karena stasiun-stasiun pada *cluster* ini berada pada area lembah

Baliem pada ketinggian sekitar 1.550 m dpl, yang mendapat selter dari deretan pegunungan di atas 3.000 m, terutama pegunungan Trikora di sisi timur ke tenggara (Mc Alpin 1983). *Magnitudo* pola hujan mendapat penguatan pada stasiun di ketinggian sekitar 1.900 m dpl, yaitu di pola B4 *cluster* Tembagapura. Pada *cluster* ini



Gambar 5. Variasi geografis pola hujan di wilayah Papua

Figure 5. Geographical variations of the rainfall pattern in Papua region

pola DJF, MAM, JJA dan SON mengalami penguatan signifikan yang relatif sama kuat, membentuk maksima di MAM dan JJA/SON dengan rata-rata *magnitudo* 400 mm bulan⁻¹. Di sisi barat *magnitudo* pola JJA sangat kuat di B5 cluster Enarotali pada ketinggian stasiun hujan 1.750-1.800 m dpl, sehingga membentuk maksima kedua di JJA dengan *magnitudo* yang lebih kuat dari maksima pertama di MAM. Secara geografis cluster ini berada pada posisi tenggara barat laut antara pola C cluster Timika dengan maksima di JJA dan pola ekuatorial B6 cluster Nabire dengan maksima kedua di JJA.

Perubahan *magnitudo* pola hujan secara kuat terjadi deretan pegunungan kepala burung, yaitu di pola B9 cluster Kebar di area lembah Kebar pada ketinggian sekitar 500 m dpl, yang dikelilingi oleh deretan pegunungan 1.000-2.000 m dpl di pegunungan kepala burung. Cluster ini membentuk maksima di MAM dan JJA/SON dengan *magnitudo* pola hujan yang sangat rendah di deretan pegunungan tengah dengan rata-rata *magnitudo* di bawah 200 mm bulan⁻¹. Pola B9 memiliki karakteristik pola yang melandai dari MAM ke SON serupa dengan pola monsun A4 cluster Manokwari di sisi utara-timur pegunungan kepala burung, namun sedikit mengalami penguatan pola SON yang menggambarkan keterkaitan variasi perubahan pola dengan pola B10 dan C di sisi selatan ke barat laut pegunungan kepala burung.

Variasi pola hujan di dataran rendah selatan Papua

Dataran rendah selatan Papua memperlihatkan tiga pola hujan utama yang dikenal di kepulauan Indonesia (Aldrian 1999, 2001), yaitu pola monsun A, pola ekuatorial B, dan pola lokal C yang secara geografis dari arah tenggara ke barat laut membentuk variasi pola A-B-C. Ketiga pola ini di dataran rendah selatan mengalami variasi menjadi pola monsun A6 dan pola ekuatorial B1, B2, B10, serta pola hujan lokal C1 dan C2. Area paling tenggara 8-9° S, ditemukan pola monsun A, yaitu cluster Merauke. Pola ini memiliki maksimum di Januari-Maret dengan rata-rata *magnitudo* mencapai 300 mm, sedangkan *magnitudo* terendah di JJA, di bawah 100 mm. Pola hujan monsun A menunjukkan karakter pola yang serupa dengan pola monsun di area lintang selatan BMI pada umumnya. Area ini oleh Murakami dan Matsumoto (1995) dipetakan kedalam area NAIM (North Australian Indonesian Monsoon), atau Australian Monsoon (Ding 1997). Menarik diperhatikan bahwa semakin dekat ke deretan pegunungan tengah pola hujan semakin bervariasi dengan *mgnitudo* yang semakin tinggi. Di B1 cluster Tanah Merah di utara cluster Merauke menunjukkan pola ekuatorial dengan variasi pola yang kuat di DJF dan MAM dengan rata-rata *magnitudo* di atas 300 mm bulan⁻¹. Di B2 cluster Ninati menunjukkan variasi yang sama dengan B1,

namun dengan *magnitudo* tertinggi dari seluruh pola hujan. Rata-rata mangitud maksima MAM dan SON mencapai di atas 600 mm bulan⁻¹. *Magnitudo* ini menjadi rendah di pola B *cluster* Asmat, yang relatif jauh dari sisi pegunungan tengah, dimana maksima pertama di MAM dan kedua di SON hampir sama kuat, di bawah 400 mm.

Variasi pola hujan ekuatorial mulai dari B2, B1, dan B di sisi selatan pegunungan bagian tenggara, kemudian mengalami perubahan variasi pola secara signifikan, yaitu dengan menguatnya pola JJA membentuk pola lokal C di *cluster* Timika, di sisi barat laut *cluster* Asmat, sekitar 5°LS, 136°-137°BT. Area geografis ini telah diidentifikasi oleh Chang *et al.* (2005) sebagai satu-satunya area di sekitar 5°S di benua Maritim yang memiliki intrusi angin laut terkuat selama rejim monsun timuran JJA, bahkan di rejim monsun baratan DJF pun cukup kuat. Pola lokal ini menunjukkan karakteristik yang mirip dengan pola lokal C di Ambon (Aldrian 1999, 2001; Aldrian dan Susanto 2003).

Di sisi barat *cluster* Timika, pola JJA mengalami penurunan *magnitudo* sehingga membentuk pola monsun dengan maksima di MAM, yaitu pada pola A6 *cluster* Kaimana. Di sisi barat pola JJA dan MAM sedikit lebih tinggi, yaitu di stasiun-stasiun di area Babo-Bintuni yang masuk dalam pola A3 *cluster* Wasior. Sedangkan di sisi tenggara leher, yaitu area Fakfak, dan sisi barat laut kepala burung, area Sorong menunjukkan pola JJA yang sedikit lebih kuat di atas pola MAM dan SON, sehingga area ini memiliki karakter pola lokal C1. Di sisi timur laut Pola lokal C1, dan selatan pegunungan kepala burung terjadi penguatan *magnitudo* terkuat di MAM dan SON, sehingga membentuk dua maksima di MAM dan SON, yaitu pola B10 *cluster* Ayawasi. Pola B10 mirip dengan pola B2 di sisi selatan pegunungan tengah bagian timur, namun dengan *magnitudo* yang agak rendah. Keadaan sebaliknya dari pola B10 terjadi di sisi barat laut, dimana pola C1 mengalami penurunan *magnitudo*, sehingga membentuk pola C2 di *cluster* Saonek yang meliputi kepulauan raja Ampat bagian selatan. Rata-rata *magnitudo* JJA di C2 tidak mencapai 200 mm bulan⁻¹.

Implikasi pola hujan terhadap sektor pertanian di Papua

Kaitan pola hujan dengan aspek pertanian dapat dianalisis melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan empiris (*empirical approach*) dan pendekatan fisis (*physical approach*). Pada pendekatan empiris, pola hujan dapat digunakan sebagai indikator untuk menggambarkan hubungan antar unsur iklim curah hujan dengan kebutuhan komoditas pertanian. Sedangkan terkait pendekatan fisis, karena pola hujan merepresentasikan elemen mekanisme fisis pembentuk pola hujan, maka informasi variabilitas temporalnya dapat menjadi acuan untuk menyusun strategi budidaya pertanian.

Oleh karena itu, temuan variasi geografis pola hujan berimplikasi pada dua aspek utama dari sektor pertanian di wilayah Papua, yaitu: (i) pewilayahan komoditas pertanian, dan (ii) strategi budidaya pertanian antisipatif variabilitas iklim di Papua. Pewilayahan komoditas pertanian merupakan implikasi dari pendekatan empiris terhadap variabel tanah, iklim dan kebutuhan tanaman dengan zonasi sistem pertanian, sebagaimana terintegrasi pada pendekatan AEZ (*Agro-ecological Zone*). Pendekatan ini telah dilakukan dalam skala 1:250.000 dan skala 1:100.000 pada area terpilih di wilayah Papua sejak tahun 2000 hingga sekarang. Namun minimnya informasi iklim, mengakibatkan tidak maksimalnya pertimbangan iklim dalam aspek pewilayah komoditas pertanian di Papua. Dengan demikian, hasil kajian ini akan memperkuat zonasi sistem pewilayahan komoditas pertanian di wilayah Papua.

Sementara terkait dengan variabilitas iklim, pola hujan menjadi dasar strategi penyusunan pola tanam, terutama pada zona pangan, baik pada sistem pertanian lahan kering, maupun pada sistem pertanian lahan basah. Hal ini karena secara temporal, masing-masing pola hujan menunjukkan variabilitas temporal yang juga berbeda terkait dengan faktor pengontrol iklim yang sifatnya non-musiman, seperti terhadap fenomena ENSO dalam skala waktu *inter-annual* (antar tahunan), bahkan dalam skala waktu *inter-decadal* (antar dekade).

Di laporkan oleh Aldrian dan Susanto (2003) bahwa pola hujan lokal (C) sangat sensitif terhadap ENSO, diikuti oleh pola hujan monsun (A), sedangkan pola hujan ekuatorial (B) kurang sensitif. Sedangkan Rouw (2014) memperlihatkan adanya variabilitas *inter-decadal* (10-30 tahunan) yang kuat dari pola hujan di wilayah Papua. Pola hujan ekuatorial di wilayah Papua tidak stasioner, yaitu dapat mengalami pergeseran pola menjadi pola lokal dalam skala waktu *inter-decadal*. Keadaan ini ditunjukkan oleh pergeseran fase dan perubahan amplitudo pola hujan dalam skala waktu *inter-decadal*. Sementara pola hujan monsun di wilayah Papua mengalami perubahan amplitudo, dan hanya sedikit mengalami pergeseran fase puncak hujan dalam skala waktu *inter-decadal*. Tentunya dengan pemahaman ini, strategi budidaya antisipatif variabilitas iklim dapat dilakukan melalui pilihan teknologi adaptif, seperti varietas, dan sistem pengairan, serta aplikasi pemupukan di zona pangan sesuai karakteristik pola hujannya.

Kesimpulan

1. Variasi pola hujan di wilayah Papua meliputi 21 *cluster* pola hujan, yaitu: pola hujan monsun variasi A, A1, A2, A3, A4, A5, dan A6; dan pola hujan ekuatorial dengan variasi B, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, dan B10, serta pola hujan lokal dengan variasi C, C1, dan C2.

2. Secara geografis 21 *cluster* pola hujan di Papua bervariasi menurut di tiga area geografis utama, yaitu 7 *cluster* pola hujan di dataran rendah utara Papua: A2, A3, A4, A5, B6, B7, B8; dan 5 *cluster* pola hujan di deretan pegunungan tengah Papua: A1, B3, B4, B5, B9; serta 9 *cluster* pola hujan di dataran rendah selatan Papua: A, A6, B, B1, B2, B10, C, C1, dan C2.
3. Variasi pola hujan monsun dan ekuatorial di dataran rendah utara Papua terutama terkait dengan variasi perubahan pola JJA, sedangkan di deretan pegunungan tengah di dominasi oleh pola ekuatorial dengan variasi perubahan *magnitudo* yang sangat kontras terjadi di semua pola rejim DJF, JJA, MAM dan SON, menggambarkan kompleksitas dalam respon sistem terrain terhadap sistem reguler iklim. Sedangkan di dataran rendah selatan Papua, variasi pola hujan monsun, ekuatorial dan lokal terutama terjadi pada pola JJA, MAM dan SON.
4. Temuan pola hujan berimplikasi pada dua hal pokok dari sektor pertanian di wilayah Papua, yaitu pewilayahan komoditas pertanian, dan strategi budidaya pertanian dengan mempertimbangkan keadaan klimatologis pola hujan serta variabilitas temporalnya.

Daftar Pustaka

- Aldenderfer, M.S. and R.K. Blashfield. 1984. Cluster Analysis. Series: Quantitative Application in the Social Science. No. 07. Sage Publication. London Pp 53-62.
- Aldrian, E. 1999. Division of climate type in Indonesia based on rainfall pattern. *Oceanica-Journal of Marine Science and Technology*, BPPT (5):165-171.
- Aldrian, E. 2001. Distribution of climate Indonesia is based on the method of precipitation patterns "double correlation". *J. Sains & Weather Modification Technologies* 2(1):2-11.
- Aldrian, E. and R.D. Susanto, 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology* (23):1453-1464.
- Badan Meteorologi dan Geofisika [BMG] Regional Irian Jaya. 1957-1981. Buku Tahunan Data Curah Hujan Area Irian Jaya 1957-1981. Dinas Perhubungan, Sukarnopura (Jayapura), Publikasi 2-46.
- Badan Meteorologi dan Geofisika [BMG] Regional Irian Jaya. 1981. Peramalan iklim, Publikasi No. 45 (Irian Jaya). Data Iklim 1976-1980 di Jayapura, Sentani, Biak, Manokwari, Sorong (Jefman), Kaimana, Kokonao, Wamena, Tanah Merah, Merauke (Mopah), Serui, Nabire, Sarmi. Departemen Perhubungan, BMKG, Regional V.
- Boerema, J. 1938. Van Den Typen Regenval in Nederlandsch Indie (Rainfall types in Nederlands Indies). The Royal Observatory Magnetisch En Meteorologisch Batavia. *Verhandelingen* 18.
- Braak, C. 1929. Climate Het van Nederlandch Indie (the climate of the Netherlands Indies) *Klimaat Inleiding, Nederlands gebied, Australisch Nieuw Vergelijking Guinea*, Summary, Litaratuurlijst.
- Brookfield, H.C. and D. Hart. 1966. Rainfall in the Tropical Southwest Pacific. Department of Geography Publ. G / 3, Research School of Pacific Studies, Australian National University. Australian National University Press, Canberra.
- Chang, C.P., Z. Wang, and H.J. Chen. 2005. Synoptic disturbances over the equatorial South China Sea and western maritime continent during boreal winter. *Mon. Wea. Rev.* (133):489-503.
- Chang, C.P., Z. Wang, J. McBride, and C. H. Liu. 2005. Annual cycle of Southeast Asia-Maritime Continent rainfall and the asymmetric monsoon transition. *J. Climate* (18):287-301.
- Chatfield, C. and A.J. Collins. 1980. *Introduction to Multivariate Analysis*. Chapman and Hall Ltd.. London.
- Dahni, R.R. and E.E. Ebert. 1998. Automated objective synoptic typing to characterize errors in NWP model QPFs. 12th Conference on Numerical Weather Prediction. American Meteorological Society.
- Dambul, R. and P. Jones. 2008. Regional and temporal climatic classification for Borneo. *Geografia* ISSN 0126-7000 5(1): 1-25.
- Ding, Y. 2007. The variability of the Asian summer monsoon. *J. Meteor.Soc. Japan*, 85B:21-54.
- Ichikawa, H. and T. Yasunari. 2008. Intraseasonal variability in diurnal rainfall over New Guinea and the surrounding oceans during Austral Summer. *J. Climate* 21(12):2852-2868.
- Jolliffe, I.T. 1986. *Principal Component Analysis*. Springer-Verlag, P 271.
- Jolliffe, I.T. 1990. *Principal component analysis: a beginner's guide-I. Introduction and application*. *Weather* (45):375-381.
- Kidson, J.W. 2000. An analysis of New Zealand synoptic types and their use in defining weather regimes. *International Journal of Climatology* (20):299-316.
- Kolivas, N.K. and C.A. Comrie. 2007. Regionalization and variability of precipitation in Hawaii. *Physical Geography* 28(1):76-96.
- Manly, B.F.J. 1986). *Multivariate Statistical Methods A Primer*. Chapman dan Hall Ltd. Mew York. P 159.
- McAlpine, J.R., G. Keig, and R. Falls. 1983. *Climate of Papua New Guinea*. CSIRO in association with Australian National University Press, Canberra.
- Meteorologisch En Geofysisch Bureau Holandia. 1901-1942. *Klimatologische Waarnemigen (Climatological Observations)*. Nederlands Nieuw Guinea, Dienst van Veerkeer en Energie. Holandia (Jayapura).
- Meteorologisch En Geofysisch Bureau Holandia. 1952-1957. *Klimatologische Waarnemigen (Climatological Observations)*. Nederlands Nieuw Guinea, Dienst van Veerkeer en Energie. Holandia (Jayapura).
- Murakami, T. and J. Matsumoto. 1995. Summer Monsoon over the Asian Continent and Western North Pacific, in *Seasonal and Secular Rainfall Variation in the Tropics*. Dept. Of Geography, the University of Tokyo.
- Prentice M.L. and G.S. Hope. 2006. *Climate of Papua. The Ecology of Papua*. Springer-Verlag. Pp 93-117.
- Rouw, A. 2014. *Pengaruh Variabilitas Iklim Inter-decadal Terhadap Pergeseran Pola Hujan di Wilayah Papua*, Disertasi. Institut Teknologi Bandung. (*unpublished*).
- Wilks, D.S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Science, an Introduction*. Academic Press, New York. Pp 373-403.