

HUBUNGAN CUACA DAN KONSENTRASI PM10 (STUDI KASUS DI KOTA BANJARBARU)

Relationship between Weather and PM10 Concentration (Study Case at Banjarbaru City)

Miftahul Munir¹⁾, Arief RM Akbar²⁾, Badaruddin³⁾, Raihani Wahdah²⁾

¹⁾ Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat /
panjaratan@gmail.com

²⁾ Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat

³⁾ Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat

Abstract

This research's aim was to identify the relationship between weather element with PM10 concentration in Banjarbaru both during normal condition and during smoke fog (smog) condition, to study the condition's effect afflicts to weather element and PM10 concentration in ambient air and to determine standard quality concentration PM10's threshold in ambient air during smog condition. The data were 10 minute PM10, humidity, and temperature and daily weather of 2015 that obtained from Banjarbaru Climatology Station meanwhile data of hotspot's in South Kalimantan at 2015 was taken from MODIS satellite of Terra Aqua owned by NOAA. The 10 minutes data has been clustered using K-means method and the daily weather element relationship with PM10 concentration obtained based on regression analysis. When normal conditions, only temperature, and duration of irradiance were significantly has positively correlated with PM10 concentration, air humidity and significant rainfall are negatively correlated, the remain is not significant in effect, while during smog conditions; temperature, duration of irradiation, air pressure, average wind velocity, and maximum significant wind speed are positively correlated, air humidity, and rainfall significantly negatively correlated. Based on the results of K-means clustering analysis of PM10 concentration, there was higher humidity, higher temperature, and PM10 concentrations were below the standard quality threshold under normal conditions while in the case of smog conditions, lower humidity, lower temperature, and PM10 concentrations were above the quality standard threshold. PM10 concentration during smog condition reaches dangerous status/above the standard quality threshold before dry season until late dry season at 02.20 is in the dusk until 12.30 pm.

Keywords: K-Means, PM10, Regression, Smog, Weather

PENDAHULUAN

Tahun 2015 terjadi kebakaran hutan yang masif di Indonesia pada umumnya, dan Kalimantan Selatan pada khususnya mengakibatkan kejadian kabut asap sangat terasa di Banjarbaru (Antara News, 2015). Gentingnya kabut asap terlihat dari kegiatan Presiden Joko Widodo meninjau lokasi bekas kebakaran lahan di desa Guntung

Damar, Banjarbaru pada tanggal 23 September 2015 dikarenakan mengganggu kesehatan, transportasi, ditutupnya sekolah, dan mengganggu kegiatan ekonomi dengan penutupan kantor dan pabrik. Dampak dari ketebalan kabut asap saat kebakaran hutan pada 2015 sampai menyebabkan banyak sekolah, kantor, dan pabrik yang ditutup untuk mengurangi dampak masalah kesehatan. Masalah transportasi akibat

terganggunya jarak pandang oleh kabut asap bisa menyebabkan ditutupnya bandara. Kabut asap juga menyebabkan terhambatnya transportasi darat dan laut.

Kabut asap disebabkan oleh partikel padat yang mengambang di udara (*Particulate Matter*) dan selanjutnya disingkat sebagai PM. PM dikelompokkan berdasarkan ukuran diameter menjadi 3 kelompok secara garis besar yaitu: PM10, PM2,5, dan PM1. PM10 mengindikasikan partikel mengambang dengan ukuran diameter dibawah 10 μm , PM2,5 dan PM1 adalah partikel mengambang dengan ukuran diameter dibawah 2,5 μm dan 1 μm (Satsangi, Kulshrestha, Taneja, & Rao, 2011; Tiwari, Chate, Pragya, Ali, & Bisht, 2012).

PM10 dianggap merupakan sumber utama polusi udara di Thailand Utara dihasilkan terutama dari pembakaran dan lalu lintas (Chantara, 2012). Karena itu analisa konsentrasi PM10 lebih cocok dilakukan saat terjadi bencana kabut asap yang diakibatkan kebakaran hutan dan lahan dibanding PM2,5 dan PM1.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya hubungan cuaca dan konsentrasi PM10. Unsur cuaca yang sering dihubungkan dengan konsentrasi PM10 adalah curah hujan (Abdullah, Shuhaimi, Ying, & Shapee, 2011; Shaadan, Mohd Deni, & Jemain, 2012), temperatur, tekanan udara, kelembaban udara, arah angin, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Walaupun begitu unsur cuaca yang berpengaruh terhadap konsentrasi PM10 berbeda antar lokasi (Turyanti, 2011), sehingga perlu diteliti unsur cuaca apa saja yang dominan pengaruhnya terhadap konsentrasi PM10 di Kota Banjarbaru.

METODE PENELITIAN

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah komputer dengan SQL Server 2010 untuk *query data* dari *server logger* alat

pengamatan PM10 otomatis Continuous Ambient Particulate Monitor merk Thermo Scientific-USA model:5014i yang diseting untuk melakukan pengamatan PM10 setiap 10 menit disertai dengan data waktu pengamatan, suhu, dan kelembaban udara, Notepad dan Microsoft Excel untuk persiapan data PM10, T, dan RH, Software IBM SPSS Statistics 20 untuk analisis pengklasteran dan analisis regresi.

Pengolahan Data

Data PM10 diambil menggunakan query SQL dari server alat pengamatan PM10 otomatis Continuous Ambient Particulate Monitor merk Thermo Scientific-USA model:5014i yang diseting untuk melakukan pengamatan PM10 setiap 10 menit disertai dengan data waktu pengamatan, suhu, dan kelembaban udara pada periode 1 Januari 2015 – 31 Desember 2015.

Data utama lainnya berupa data curah hujan, tekanan udara, kecepatan angin, serta lama penyinaran matahari yang diamati pada Stasiun Klimatologi Banjarbaru bertempat di Kota Banjarbaru.

Data Hotspot tahun 2015 diambil dari data MODIS satelit Terra Aqua yang dimiliki oleh NASA, diproduksi oleh University of Maryland dan disediakan oleh NASA FIRMS yang dioperasikan NASA/GSFC/ESDIS didanai oleh NASA/HQ.

Prapengolahan data diperlukan karena ada data yang hilang dan data yang salah karena nilainya negatif. Penyebab data hilang diakibatkan karena alat pengukur otomatis PM10 yang digunakan di Stasiun Klimatologi Banjarbaru memerlukan daya listrik yang sangat besar sehingga terjadi beberapa kali berhenti operasi saat terjadi pemadaman listrik yang cukup lama karena UPS yang tersedia hanya mampu menunjang alat selama 4 jam sementara genset yang tersedia tidak mampu memenuhi keperluan daya alat tersebut. Penyebab data yang salah dikarenakan saat pertama alat dihidupkan, hasil pengukuran alat adalah negatif.

Kemudian baru hasil pengukuran menunjukkan nilai yang akurat. Nilai PM10 yang didapat diawal menyalanya alat biasanya bernilai negatif yang sangat besar.

Dalam prapengolahan data, data yang hilang diabaikan karena perbandingan data hilang dibanding data yang ada jumlahnya sangat minim. Data yang bernilai negatif dihapus dan diabaikan sebagaimana dengan perlakuan terhadap data hilang.

Jumlah data yang digunakan sebanyak 51.908 data. Data ini berasal dari data yang ada dari total seharusnya 52.560 data (98,76%). Hasil pengolahan data dengan menghilangkan data PM10 yang bernilai negatif dan pengamatan diluar periode 10 menit mendapatkan data sejumlah 43.107 (82% dari keseluruhan data).

Analisis Pengklasteran K-means

Analisis yang dilakukan adalah analisis pengklasteran karena cocok untuk mengetahui struktur distribusi di dalam data yang terlihat homogen. Hasil observasi konsentrasi PM10 terlihat homogen. Dan perlu dilakukan pengklasteran terlebih dahulu dengan metode K-means karena K-means ideal untuk dataset yang cukup besar. K-means mudah dan sederhana dalam implementasi, mampu mengatasi dataset yang besar, cepat dalam konvergensi dan adaptasi terhadap data yang jarang (Oyelade, Oladipupo, & Obagbuwa, 2010), hal yang membuat K-means algoritma pengklasteran paling populer (Yadav & Sharma, 2013).

K-means bertujuan mempartisi sebuah N-dimensi populasi menjadi sejumlah K sub-bagian berdasarkan sebuah sampel (MacQueen, 1967).

Langkah-langkah sebagai berikut disarikan dari MacQueen (1967) sebagai penemu algoritma K-means:

1) Misalkan $z_1, z_2, \dots$ adalah pengamatan acak dalam kumpulan data E_N , tiap titik dipilih menggunakan probabilitas tetap p sehingga $P[z_1 \in A] = p(A)$ dan $P[z_{n+1} \in A | z_1, z_2, \dots, z_n] = p(A)$, $n=1, 2, \dots$, untuk tiap himpunan bagian A dalam E_N .

2) Jarak minimum relatif tiap klaster terhadap himpunan bagian yang terbentuk $x=(x_1, x_2, \dots, x_k)$, $x_i \in E_N$, $i=1, 2, \dots, k$ kita notasikan sebagai $S(x)=\{S_1(x), S_2(x), \dots, S_k(x)\}$ dari himpunan semesta E_N , maka : $S_1(x)=T_1(x), S_2(x)=T_2(x)S'_1(x), \dots, S_k(x)=T_k(x)S'_1(x)S'_2(x)\dots S'_{k-1}(x)$,

dimana

$$T_i(X)=\{\xi: \xi \in E_N, |\xi - x_i| \leq |\xi - x_j|, j=1, 2, \dots, k\}$$

3) Tiap klaster $S_i(x)$ berisi anggota E_N yang terdekat dengan x_i . Untuk titik yang imbang jaraknya, dimasukkan ke klaster dengan indeks terendah. Misal ada klaster S_3 dan S_4 maka titik tersebut menjadi anggota klaster S_3 karena indeksnya lebih rendah.

Secara sederhana prosedur K-means terdiri dari membuat himpunan sejumlah K klaster beranggota satu data observasi acak, kemudian ditambahkan titik baru pada masing-masing klaster dimana nilai titik tersebut terdekat dengan rata-rata klaster. Kemudian rata-rata klaster dihitung ulang dan proses diulang lagi sampai semua titik masuk kedalam klaster terdekat.

Penelitian ini menggunakan dua keadaan yaitu kejadian normal tanpa asap dan kejadian kabut asap sehingga dibutuhkan dua buah klaster data ($k=2$). Hasil akhir didapatkan dua buah klaster data, dimana salah satu klaster mewakili hari tanpa asap/ normal dan satunya beranggota hari-hari yang mengalami kabut asap.

Proses analisis klaster menggunakan variabel kelembaban relatif selanjutnya ditulis sebagai RH, suhu selanjutnya ditulis sebagai T, dan konsentrasi PM10 selanjutnya dituliskan PM10. Hasil pengklasteran ini akan digunakan dalam pengolahan selanjutnya.

Analisis Regresi

Analisis regresi dilakukan pada masing-masing klaster untuk melihat pola saat kondisi kabut asap dan saat kondisi

normal. Analisis regresi adalah proses statistik untuk mengestimasi hubungan antar variabel. Analisis regresi sederhana mengukur asosiasi statistik antara dua variabel X dan Y, dimana perubahan pada variabel independen X mempengaruhi perubahan pada variabel dependen X (Guerard, 2013).

Model regresi dinyatakan dalam persamaan:

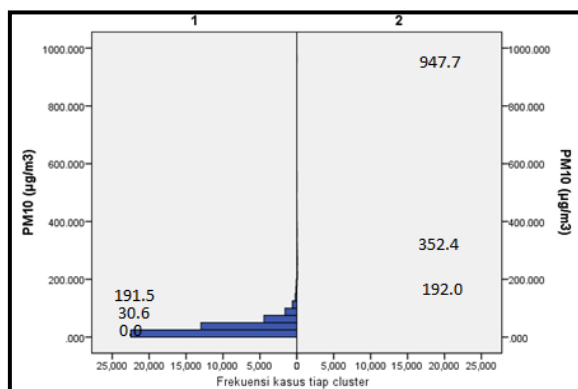
$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Dalam penelitian ini analisis regresi dilakukan dengan variabel dependen konsentrasi PM10 dan variabel independen berupa T (Temperatur dalam Celcius), RH (Kelembaban Relatif dalam %), ff (Kecepatan Angin dalam Knot), v% (Lama penyinaran Matahari dalam %), CH (Curah Hujan dalam mm), dan P (Tekanan Udara dalam mb).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pengklasteran

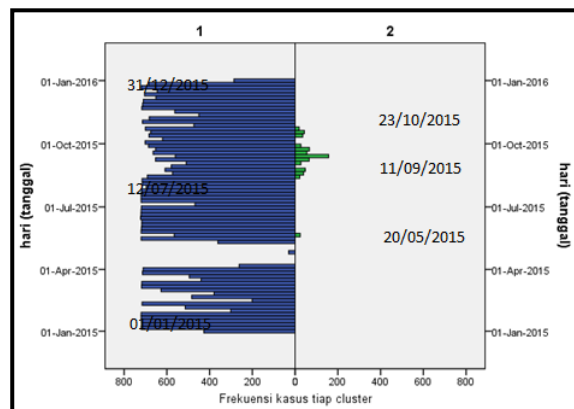
Hasil pengklasteran dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Jumlah kasus per PM10, nilai maksimum, rata-rata, dan minimum tiap kluster.

Pada gambar 1 terlihat seluruh nilai PM10 pada kluster 1 berada dibawah nilai minimum PM10 pada kluster 2, nilai minimum kluster 2 ($192,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) melewati ambang bahaya baku mutu PM10 sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini menunjukkan menurut hasil analisis pengklasteran kedua ini semua

kasus pada kluster 2 adalah kondisi kabut asap dan berbahaya bagi aktivitas manusia.



Gambar 2. Jumlah kasus per hari tiap kluster

Gambar 2 menunjukkan jumlah kasus PM10 per tanggal, nilai maksimum, rata-rata, dan minimum tanggal tiap kluster. Sebagian besar kasus (42.492 kasus) terjadi pada kluster 1 dan menyebar sepanjang tahun dimulai pada tanggal 1 Januari 2015 sampai 31 Desember 2015 sementara kluster 2 disebelah kanan terlihat sangat sedikit (631 kasus). dimulai 20 Mei 2015 sampai 23 Oktober 2015.

Periode kluster 2 hampir bersamaan dengan kejadian musim kemarau di Banjarbaru tahun 2015 pada Gambar 3 yang dihitung berdasarkan pada definisi BMKG (Giarno, Dupe, & Mustofa, 2012; Ulfah & Sulistya, 2015) yaitu awal Juni 2015 sampai akhir Nopember 2015 sehingga bisa disimpulkan kejadian kluster 2 sangat dipengaruhi oleh Musim Kemarau 2015 dan kebakaran hutan yang biasa terjadi menjelang dan selama musim kemarau. Penelitian lain menunjukkan hasil serupa bahwa PM10 tinggi terjadi saat musim kemarau (Anwar, Juneng, Othman, & Latif, 2010; Chantara, 2012; Rashid, Yunus, Mat, Baharun, & Lestari, 2014). Hal ini selain disebabkan unsur cuaca secara langsung (Chantara, 2012) juga secara tidak langsung melalui kebakaran hutan yang dibuktikan oleh tingginya black carbon saat musim kemarau (Rashid *et al.*, 2014) dan korelasi positif hotspot dan PM10 (Anwar *et al.*, 2010).

bulan	dasarian	SumOfnilai
1	DAS I	59
1	DAS II	236
1	DAS III	249
2	DAS I	164
2	DAS II	134
2	DAS III	48
3	DAS I	150
3	DAS II	72
3	DAS III	149
4	DAS I	29
4	DAS II	148
4	DAS III	199
5	DAS I	91
5	DAS II	93
5	DAS III	84
6	DAS I	44
6	DAS II	39
6	DAS III	26
7	DAS I	1
7	DAS II	4
7	DAS III	20
8	DAS I	
8	DAS II	
8	DAS III	39
9	DAS I	
9	DAS II	
9	DAS III	
10	DAS I	35
10	DAS II	
10	DAS III	9
11	DAS I	37
11	DAS II	61
11	DAS III	16
12	DAS I	69
12	DAS II	181
12	DAS III	86

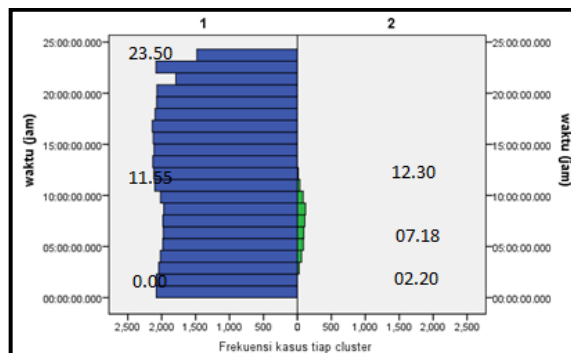
Gambar 3. Periode musim kemarau tahun 2015.

Tabel 1. Jumlah hotspot di area Kalimantan Selatan Tahun 2015 berdasar satelit Terra Aqua

Periode		Hotspot (semua confidence)	Hotspot (confidence >=60)
Musim 2015	Musim	5665	62
	Hujan		
	Musim Kemarau	12889	8169
analisis klaster pertama	Tanpa kabut asap	90	38
	Kabut asap	12799	8193
analisis klaster kedua	Tanpa kabut asap	1104	612
	Kabut asap	11785	12277

Sumber: Diolah data MODIS satelit Terra Aqua.

Tabel 1 memperlihatkan saat musim kemarau di Kalimantan Selatan jumlah hotspot penyebab konsentrasi PM10 meningkat terjadi lebih banyak dibandingkan saat musim hujan.

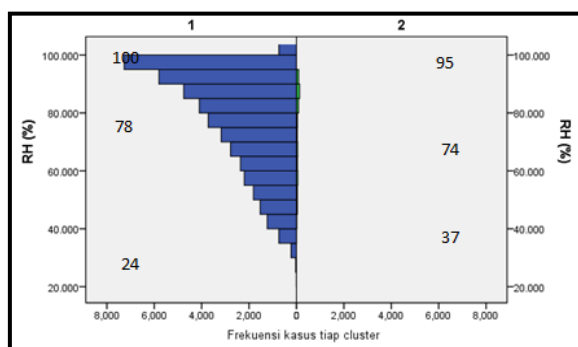


Gambar 4. Jumlah kasus per 10 menit tiap Klaster

Gambar 4 menunjukkan jumlah kasus PM10 per waktu, nilai maksimum, rata-rata, dan minimum waktu tiap klaster. Distribusi frekuensi kasus pada klaster 1 terjadi sepanjang hari sementara klaster 2 hanya terjadi pada periode 2.20 dini hari sampai 12.30 siang. Hal ini menyatakan saat kondisi tanpa kabut asap bisa terjadi kapan saja tetapi kondisi kabut asap hanya terjadi pada periode 2.20 dini hari sampai 12.30 siang. Periode ini bisa disimpulkan sebagai waktu yang berbahaya bagi kesehatan manusia, dan mengganggu aktivitas sekolah, pabrik, kantor, maupun transportasi.

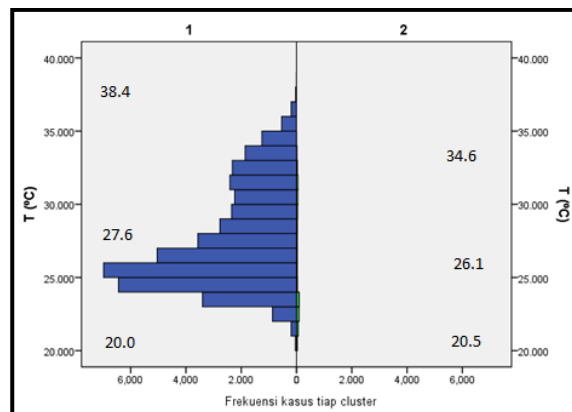
Variasi diurnal hasil penelitian lain berbeda-beda, sebagian besar menunjukkan dua puncak pada pagi dan sore hari akibat pengaruh lalu lintas (Bhugwant & Brémaud, 2001; Ilahi & Nurhayati, 2012; Makra, Mayer, Mika, Santa, & Holst, 2010; Pohjola *et al.*, 2002; Shaadan *et al.*, 2012), ada yang terjadi puncak hanya sekali sehari pada pagi hari (Evangelopoulos, Zoras, Triantafyllou, & Albanis, 2006; Gomišček, Hauck, Stopper, & Preining, 2004; Kalabokas, Adamopoulos, & Viras, 2010; Turyanti, 2011; Wang *et al.*, 2015) menunjukkan pengaruh diluar lalu lintas (Makra *et al.*, 2010), ada yang sore seperti Freiburg (Makra *et al.*, 2010) dan Selangor saat kabut asap (Shaadan *et al.*, 2012). Shaadan *et al.* (2012) menyatakan terjadi perbedaan sifat interaksi

cuaca dan PM10 pada nilai PM10 yang tinggi, contoh Selangor yang biasanya puncak PM10 saat jam 08.00 pagi karena lalu lintas menjadi jam 15.00 sore saat kabut asap 1997 dan 2005. Kejadian 2015 di Banjarbaru yang terjadi pada periode 02.20 dini hari sampai 12.30 siang diduga perpaduan antara pengaruh T yang rendah, lapisan inversi yang rendah, RH tinggi, P rendah, CH nihil dan FF yang rendah yang terjadi pada periode tersebut.



Gambar 5. Jumlah kasus RH tiap Kluster

Gambar 5 menunjukkan jumlah kasus PM10 per RH, nilai maksimum, rata-rata, dan minimum RH tiap kluster. Distribusi kluster 1 lebih menceng ke RH tinggi dibandingkan dengan kluster 2 dan rata-rata kluster 1 lebih tinggi dibandingkan dengan kluster 2 sehingga dapat disimpulkan kasus pada kluster 1 (kondisi tanpa kabut asap) cenderung terjadi pada RH yang lebih tinggi dibandingkan dengan kluster 2 (kondisi kabut asap). Beberapa penelitian memang menyimpulkan adanya korelasi negatif antara RH dan PM10 (Abdullah *et al.*, 2011; Giri, Murthy, & Adhikary, 2008; Huang, Long, Wang, Huang, & Ma, 2015; Ilahi & Nurhayati, 2012; Kang, Lee, Jung, & Kim, 2013).



Gambar 6. Jumlah kasus T tiap Kluster

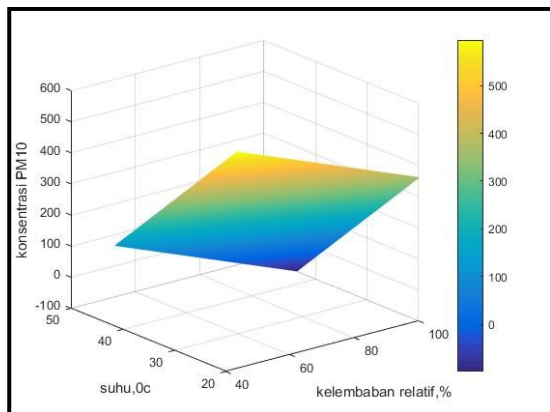
Gambar 6 menunjukkan jumlah kasus PM10 per T, nilai maksimum, rata-rata, dan minimum T tiap kluster. Distribusi kluster 1 lebih menumpuk pada T yang lebih tinggi dibanding kasus pada kluster 2, rentang T kluster 1 lebih lebar dibandingkan dengan kluster 2 dan titik tengah kluster 1 lebih tinggi dibandingkan dengan kluster 2 sehingga dapat disimpulkan kasus pada kluster 1 cenderung terjadi pada T yang lebih tinggi dibandingkan dengan kluster 2. Dengan kata lain T saat kondisi tanpa kabut asap cenderung lebih tinggi dari saat kondisi kabut asap. Hal ini diasumsikan karena pengaruh PM10 pada kondisi kabut asap mengurangi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi sehingga cenderung T lebih rendah.

T cenderung lebih rendah saat kondisi tanpa kabut asap dibanding kondisi kabut asap adalah hasil analisis pengklasteran pertama, sementara hasil analisis pengklasteran kedua menyatakan T cenderung lebih tinggi saat kondisi tanpa kabut asap dibanding kondisi kabut asap. Dalam kondisi normal penelitian lain menyimpulkan korelasi negatif T dan PM10 (Abdullah *et al.*, 2011; Huang *et al.*, 2015; Ilahi & Nurhayati, 2012; Krynicka & Drzeniecka-Osiadacz, 2013; Mjema, 2011).

Kondisi PM10 saat kabut asap pada hasil analisis pengklasteran adalah kondisi yang berbahaya bagi aktivitas manusia mengacu pada Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian

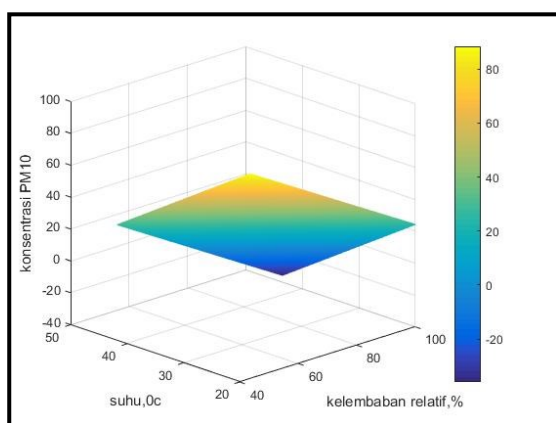
pencemaran udara mengatur ambang baku mutu udara ambien nasional.

Analisis Data Cuaca Periode 10 Menit



Gambar 7. Hubungan PM10 dengan suhu dan kelembaban saat kabut asap

Gambar 7 menunjukkan saat kejadian kabut asap model memiliki persamaan $PM_{10} = 1167 - 4,165RH - 19,488T$ dan R^2 sebesar 0,028. Berdasar fakta tersebut saat kondisi T tertinggi dan RH tertinggi terjadi maka PM10 akan bernilai $-941.700 \mu g/m^3$ sehingga dinyatakan PM10 sangat kecil, demikian juga saat kondisi T terendah dan RH tertinggi PM10 bernilai $-865.100 \mu g/m^3$ sehingga dinyatakan PM10 sangat kecil. Saat T tertinggi dan RH terendah maka PM10 bernilai $149.592 \mu g/m^3$, hampir mendekati ambang baku mutu. Saat T terendah dan RH terendah, nilai PM10 adalah $226.228 \mu g/m^3$ atau berada diatas ambang baku mutu.



Gambar 8. Hubungan PM10 dengan suhu dan kelembaban saat tanpa asap

Gambar 8 menampilkan simulasi semua kejadian RHP dan TP dan pengaruhnya terhadap PM10 saat kondisi tanpa kabut asap. Saat kejadian tanpa kabut asap, model memiliki persamaan $PM_{10} = 189 - 1,138RH - 2,549T$ dan memiliki R^2 lebih tinggi yaitu 0,275. Saat kondisi TP tertinggi dan RHP tertinggi terjadi maka PM10 akan bernilai $-109.6 \mu g/m^3$ alias tidak ada PM10, demikian juga saat kondisi TP terendah dan RHP tertinggi PM10 bernilai $-88.700 \mu g/m^3$ alias tidak ada PM10. Saat TP tertinggi dan RHP terendah maka PM10 bernilai $33.100 \mu g/m^3$ sementara saat TP terendah dan RHP terendah, nilai PM10 adalah $54.100 \mu g/m^3$ atau berada diatas ambang baku mutu. Kedua nilai PM10 tersebut masih dibawah ambang baku mutu..

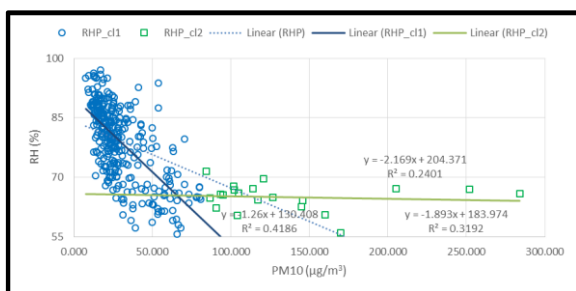
Hal ini menunjukkan adanya perubahan interaksi antara konsentrasi PM10 dengan T dan RH saat kondisi kabut asap dan saat kondisi tanpa kabut asap. Saat kejadian kabut asap, korelasi negatif terbentuk dimana RH memiliki bobot lebih kecil dibandingkan dengan T pada konsentrasi PM10 ($-4,165$ dan $-19,488$) sementara bobot RH dan T saat kondisi tanpa kabut asap adalah -1.138 dan -2.549 atau RH tetap memiliki bobot yang lebih kecil dibandingkan dengan T. Kedua persamaan menyatakan saat kondisi kabut asap dan kondisi tanpa kabut asap menyatakan semakin rendah RH dan T maka semakin tinggi PM10 dan sebaliknya semakin tinggi RH dan T maka semakin rendah PM10 dengan nilai koefisien korelasi 0,275.

Analisis Data Cuaca Periode Harian

Semua unsur cuaca diberi inisial untuk memudahkan pembahasan yaitu data suhu harian (TP), kelembaban relatif harian (RHP), tekanan udara permukaan harian (P), curah hujan harian (CH), lama penyinaran matahari periode 8 jam dalam % (V%), Kecepatan angin rata-rata harian (FFR), dan kecepatan angin maksimum harian (FFX). Semua kejadian klaster 1 akan ditulis c11 pada gambar dan dinyatakan sebagai kondisi kejadian tanpa kabut asap dan semua

kejadian klaster 2 akan ditulis c12 pada gambar dan dinyatakan sebagai kondisi kejadian kabut asap. Korelasi dinyatakan signifikan bila nilai sig kurang dari 0,05.

Hubungan Konsentrasi PM10 dengan Kelembaban Relatif Harian



Gambar 9. Hubungan PM10 dan RHP

Gambar 9 menunjukkan RHP berkorelasi negatif (sig 0,00) dengan PM10. Nilai RHP diatas 97% akan mengakibatkan nilai PM10=0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Saat RHP bernilai minimum 56% maka PM10 akan bernilai 77,966 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Korelasi negatif ini dikarenakan semakin tinggi RHP maka semakin basah bahan bakar pada hutan berupa serasah dan humus. Kebakaran hutan sulit terjadi saat bahan bakar yang lebih basah. Hal ini senada dengan peran RHP pada serasah yang digambarkan oleh kode kadar air serasah (*Fine Fuel Moisture Code* / FPMC) dan pada humus yang diwakili kode kadar air humus (*Duff Moisture Code* / DMC) yang digunakan dalam sistem peringkat bahaya kebakaran (*Fire Danger Rating System* / FDRS) (Groot, Field, Brady, Roswintarti, & Mohamad, 2007; Lawson & Armitage, 2008; Suciarti, 2013).

Klaster 1 dengan simbol lingkaran berkorelasi negatif (sig 0,00) dengan PM10. Nilai RHP 100% akan mengakibatkan nilai PM10= 4,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Saat RHP bernilai minimum 56% maka PM10 akan bernilai 59,848 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Klaster 2 yang mewakili kejadian kabut asap dengan simbol segi empat juga berkorelasi negatif (sig 0,00) dengan PM10. Nilai RHP diatas 94% akan mengakibatkan nilai PM10= 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Saat RHP bernilai minimum 56% maka PM10 akan bernilai 82,907 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini

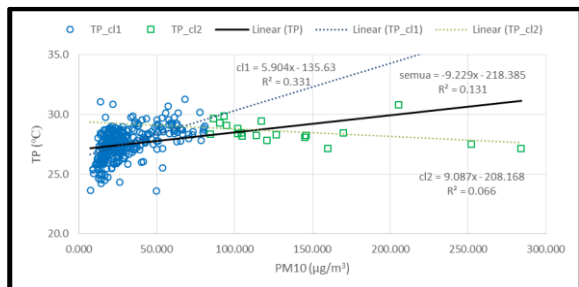
menunjukkan semakin tinggi RHP dalam kondisi apapun akan menurunkan konsentrasi PM10 melalui efeknya kepada kandungan air bahan bakar hutan. Efek ini dijelaskan dalam FDRS melalui indeks FPMC dan DMC. Hal ini karena saat tanpa kabut asap apabila RHP tinggi maka kebakaran sulit terjadi karena basahnya bahan bakar sehingga kuat korelasi negatifnya pada PM10, tetapi saat kebakaran sudah terjadi kabut asap maka RHP yang tinggi hanya mampu mencegah kebakaran baru tetapi tidak memadamkan kebakaran yang ada sehingga berkurang perannya dalam mengurangi konsentrasi PM10.

RHP yang tinggi akan jenuh dengan uap air dan tidak ada ruang untuk partikel lain termasuk PM10 saat kondisi tanpa kabut asap, sementara saat kabut asap RHP sebelum mencapai jenuh sudah terkontaminasi partikel lain sehingga RHP yang tinggi tidak sama efektifnya dibandingkan dengan saat tanpa kabut asap dalam mengurangi konsentrasi PM10 di udara. Proses ini terjadi karena pada level RHP tertentu, partikel padat secara spontan akan menyerap air membentuk saturated aqueous solution (Seinfeld & Pandis 2006). Pada level ini yang dikenal dengan nama *deliquescence relative humidity* (DRH) membuat RHP tinggi diatas DRH yang terjadi saat kabut asap mengandung banyak partikel padat (konsentrasi PM10 yang lebih tinggi) dibanding saat RHP tinggi saat tanpa kabut asap. RHP saat tanpa kabut asap akan lebih cepat jenuh dengan uap air sehingga ruang untuk PM10 lebih kecil (Seinfeld & Pandis 2006), Hal ini juga mengakibatkan saat kondisi kabut asap pengaruh RHP terhadap penurunan PM10 tidak sebesar dibanding saat kondisi tanpa kabut asap.

Hubungan Konsentrasi PM10 dengan Temperatur Harian

Gambar 10 menunjukkan PM10 berkorelasi positif (sig 0,00) dengan TP. TP terendah pada 2015 sebesar 20 °C akan menyebabkan PM10 bernilai -218,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau tidak ada PM10, cukup TP

kurang dari 24 untuk menyebabkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TP tertinggi pada 2015 sebesar 38,4 $^{\circ}\text{C}$ menyebabkan PM10 bernilai 136,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



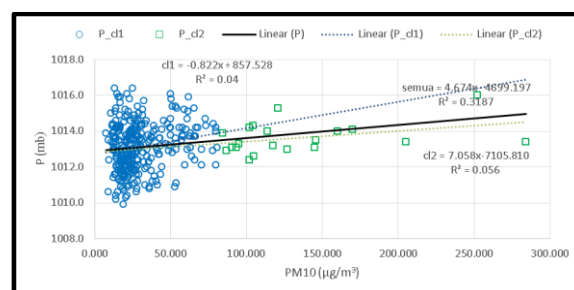
Gambar 10. Hubungan PM10 dan TP

Klaster 1 dengan simbol lingkaran adalah kejadian tanpa kabut asap sementara klaster 2 dengan simbol segi empat mewakili kejadian dengan kabut asap. TP tertinggi pada 2015 sebesar 38,4 $^{\circ}\text{C}$ menyebabkan PM10 bernilai 91,080 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat kabut asap. TP terendah pada 2015 sebesar 20 $^{\circ}\text{C}$ akan menyebabkan PM10 bernilai -26.430 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau tidak ada PM10, cukup TP kurang dari 23 untuk menyebabkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TP tertinggi pada 2015 sebesar 38,4 $^{\circ}\text{C}$ menyebabkan PM10 bernilai 140.770 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat tanpa kabut asap. TP konsisten berkorelasi positif (sig 0,00) terhadap PM10 dimana pengaruhnya saat kondisi berkabut asap tidak sebesar saat tanpa kabut asap. Dibanding RHP pengaruh TP juga lebih kecil terhadap PM10. Korelasi positif ini juga ditemukan dalam penelitian lain (Abdullah *et al.*, 2011; Barry & Chorley, 2003; Huang *et al.*, 2015; Ilahi & Nurhayati, 2012; Krynicka & Drzeniecka-Osiadacz, 2013; Mkoma & Mjemah, 2011).

Semakin tinggi TP maka semakin kering bahan bakar serasah dan humus pada lantai hutan, sehingga semakin mudah terbakar. Sebaliknya semakin rendah TP maka semakin basah bahan bakar serasah dan humus pada lantai hutan, sehingga semakin sulit terbakar. Hal ini senada dengan peran TP pada FPMC dan DMC serta pada kode kekeringan DC pada sistem peringkat bahaya kebakaran FDRS (Groot *et al.*, 2007; Lawson & Armitage, 2008; Suciarti, 2013).

TP yang lebih rendah cenderung terjadi saat kondisi PM10 sangat tinggi di klaster 1 karena membuat sinar matahari lebih sulit mencapai daratan. TP yang lebih rendah berarti lapisan inversi pada atmosfer akan lebih rendah. Lapisan inversi ini membatasi gerak naik paket udara vertikal, sehingga lapisan inversi yang lebih rendah berarti kandungan pada paket udara akan lebih padat pada permukaan daratan karena sebaran yang lebih terbatas. Hal ini membuat kandungan PM10 saat lapisan inversi yang rendah juga akan lebih tinggi dibanding saat lapisan inversi tinggi. Dengan kata lain saat T rendah maka lapisan inversi rendah, lapisan inversi rendah maka PM10 akan lebih tinggi. Hal ini terbukti pada T saat klaster 1 lebih rendah dibanding saat klaster 2. Pengaruh inversi terhadap PM10 juga sesuai dengan beberapa literatur seperti (Barry & Chorley, 2003; Desonie, 2007; Seinfeld & Pandis, 2006).

Hubungan Konsentrasi PM10 dengan Tekanan Udara Permukaan Harian



Gambar 11. Hubungan PM10 dan P

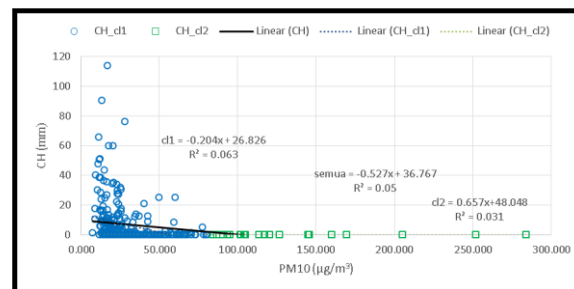
Gambar 11 menunjukkan PM10 berkorelasi positif (sig 0,00) dengan P. Saat P mencapai nilai maksimum 1016,4 mb, PM10 bernilai 81.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Saat P bernilai minimum 1009,9 mb maka PM10 akan bernilai 51,100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Perlu nilai P serendah 999 mb atau kurang untuk mendapatkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Semakin rendah P berarti semakin renggang partikel. Semakin renggang kepadatan partikel pada suatu volume udara maka semakin rendah juga massa partikel yang dikandungnya. Hal ini mengakibatkan tekanan udara pada suatu titik menjadi lebih rendah (Desonie 2007).

Semakin rendahnya kepadatan partikel udara berarti semakin sedikit partikel PM10 yang dikandungnya, sehingga semakin rendah tekanan udara maka akan semakin rendah konsentrasi PM10 atau berkorelasi positif sesuai dengan model.

Klaster 1 pada gambar 11 dengan simbol lingkaran berwarna biru (kejadian tanpa kabut asap) menunjukkan korelasi negatif dan tidak signifikan (sig 0,362), sementara klaster 2 dengan simbol segi empat berwarna hijau yang mewakili kejadian dengan kabut asap menunjukkan korelasi positif (sig 0,002). Pengaruh P berkorelasi positif tetapi kecil terhadap PM10 dan hanya signifikan saat kondisi berkabut asap. P terendah pada 2015 sebesar 1009,9 mb akan menyebabkan PM10 bernilai 27,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat tanpa kabut asap. Perlu P lebih dari 1043,2 mb untuk menyebabkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara P tertinggi pada 2015 sebesar 1016,4 mb menyebabkan PM10 bernilai 22,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. P terendah pada 2015 sebesar 1009,9 mb akan menyebabkan PM10 bernilai 22,100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat kabut asap. Perlu P kurang dari 1006,8 mb untuk menyebabkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara P tertinggi pada 2015 sebesar 1016,4 mb menyebabkan PM10 bernilai 67,900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat kabut asap.

Karena saat kondisi tanpa kabut asap korelasi negatif P dengan PM10 ternyata tidak signifikan sehingga perbedaannya dengan korelasi positif P dan PM10 saat kondisi kabut asap bisa diabaikan. Korelasi positif P dan PM10 juga ditemukan pada seluruh populasi data P tahun 2015 sehingga penjelasan semakin rendahnya kepadatan partikel udara berarti semakin sedikit partikel PM10 yang dikandungnya, sehingga semakin rendah P maka akan semakin rendah konsentrasi PM10 juga bisa diaplikasikan pada saat kondisi kabut asap. Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian terkait yang menyimpulkan korelasi positif antara P dan PM10 (Giri *et al.*, 2008; Ilahi & Nurhayati, 2012; Krynicka & Drzeniecka-Osiadacz, 2013).

Hubungan Konsentrasi PM10 dengan Curah Hujan Harian



Gambar 12. Hubungan PM10 dan CH

CH berkorelasi negatif (sig 0,00) dengan PM10 (lihat gambar 12). CH lebih besar dari 75 mm akan mengakibatkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Apabila CH bernilai 0 mm maka PM10 bernilai 39,767 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Penelitian lain juga menyatakan korelasi negatif CH terhadap PM10 (Abdullah *et al.*, 2011; Barmpadimos, Hueglin, Keller, Henne, & Prévôt, 2011; Bhaskar & Mehta, 2010; Faisal & Ulfah, 2009; Giri *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2015; Ilahi & Nurhayati, 2012; Mkoma & Mjemah, 2011; Seinfeld & Pandis, 2006).

Korelasi negatif CH terhadap PM10 berasal dari dua kejadian. Pertama adalah fungsi CH untuk mengendapkan PM10. Proses pengendapan ini dilakukan dengan pembasuhan PM10 oleh CH. Hal ini senada dengan penelitian Seinfeld dan Pandis (2006). Fungsi CH untuk mengendapkan PM10 merupakan salah satu mekanisme utama penyaluran aerosol dari atmosfer (Barmpadimos *et al.*, 2011; Bhaskar & Mehta, 2010). Kedua, pengaruh CH secara tidak langsung terhadap PM10 berasal dari pengaruh CH pada tingkat kemudahan pembakaran dimana semakin tinggi CH maka lebih sulit terjadi kebakaran (penyebab meningkatnya PM10). Pengaruh CH pada tingkat kandungan air bahan bakar serasah dan humus membuat kebakaran lebih susah terjadi. Hal ini dinyatakan dalam FDRS, dimana CH berperan sama seperti TP pada DC, DMC, dan FFMC (Groot *et al.*, 2007; Lawson & Armitage, 2008; Suciarti, 2013).

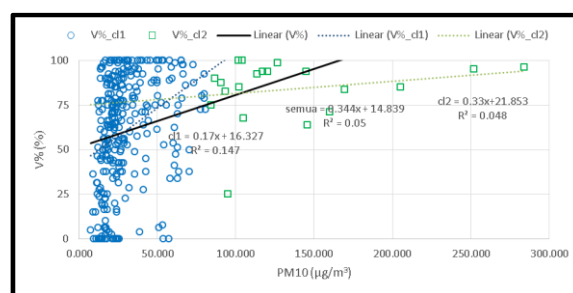
Klaster 1 pada Gambar 12 dengan simbol lingkaran (kejadian tanpa kabut asap)

memiliki korelasi negatif (sig 0,00), sementara saat klaster 2 dengan simbol segi empat yang mewakili kejadian dengan kabut asap persamaannya juga memiliki korelasi negatif (sig 0,02). CH memiliki pengaruh terhadap PM10 yang cukup konsisten walaupun pengaruhnya kecil. Pengaruh CH lebih kecil saat kabut asap dibanding saat tidak ada kabut asap. Perlu CH lebih dari 132 mm untuk menyebabkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat tanpa kabut asap. Sementara saat CH bernilai 0 mm menyebabkan PM10 bernilai 26,800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Perlu CH lebih dari 73 mm saat kabut asap untuk menyebabkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara saat CH bernilai 0 mm menyebabkan PM10 bernilai 48,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Penyebab korelasi CH terhadap PM10 lebih kecil pada saat kabut asap dibanding saat tidak ada kabut asap dijelaskan oleh jumlahnya yang terlalu banyak menyebabkan efek difusi Brownian tidak cukup mengurangi karena terlalu besar partikelnya sementara hujan tidak bisa membasuh sempurna. Penjelasan tentang efek difusi Brownian ini bisa ditemukan pada beberapa referensi seperti Tiwari *et al* (2012) dan Seinfeld dan Pandis (2006). Tetapi karena ukurannya terlalu kecil dalam proses mekanisme tabrakan inersia, proses pembasuhan PM10 juga kurang efektif. Hal ini lebih mendalam dibahas dalam penelitian Seinfeld dan Pandis (2006). CH yang lebih lebat tidak berpengaruh signifikan pada PM10 (Tiwari *et al.*, 2012; Yoo *et al.*, 2014) PM10 paling sensitif terhadap hujan 2 jam pertama (Yoo *et al.*, 2014). Sesuai dengan hasil analisis pengklasteran sebelumnya, kondisi tanpa kabut asap terjadi saat musim hujan (HH tinggi) dibanding saat kondisi asap (HH rendah) sehingga signifikansi korelasi negatif CH dan PM10 lebih tinggi saat kondisi tanpa kabut asap dibanding saat kondisi kabut asap. Kondisi ini mengakibatkan banyak HH lebih signifikan pengaruhnya dibanding CH. Hal itu diperkuat kesimpulan Kim *et al* (2014) bahwa korelasi negatif CH pada lokasi yang terus-menerus dalam kondisi PM10 tinggi (kabut asap) lebih kecil dibanding lokasi

yang tidak dalam kondisi terus-menerus mendapat suplai PM10 (kondisi tanpa kabut asap). Selain itu Kim *et al* (2014) menyimpulkan CH dibawah 1 mm tidak signifikan berkorelasi negatif dengan PM10 dan hal ini sesuai dengan pencatatan Hari Hujan (HH) dimana CH <1 mm dianggap tidak ada hujan. Barmpadimos *et al* (2011) menyimpulkan pengaruh pembasuhan CH terkuat pada range 5 mm-10 mm, CH diatas 10 mm menghasilkan standar error yang sangat besar.

Hubungan Konsentrasi PM10 dengan Lama Penyinaran Matahari Harian



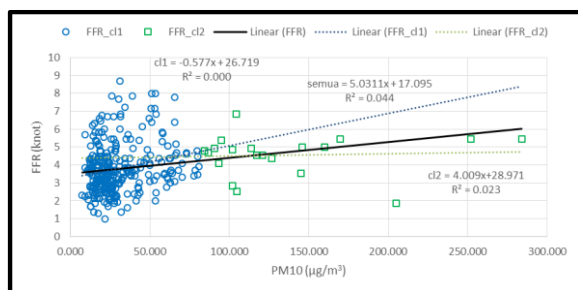
Gambar 13. Hubungan PM10 dan V%

V% berkorelasi positif dengan PM10 (sig 0,00). V% maksimum sebesar 100% akan mengakibatkan PM10 bernilai 49,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Apabila V% bernilai 0 % maka PM10 bernilai 14,800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Klaster 1 dengan simbol lingkaran (kejadian tanpa kabut asap) memiliki korelasi positif (sig 0,00), sama halnya dengan klaster 2 (kejadian kabut asap). Semakin lama V% maka semakin tinggi PM10, disebabkan oleh pengaruhnya terhadap TP dan RHP. V% sebesar 100 % akan menyebabkan PM10 bernilai 33,300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat tanpa kabut asap. V% sebesar 0% menyebabkan PM10 bernilai 16,300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. V% sebesar 100 % akan menyebabkan PM10 bernilai 54,900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat kabut asap. V% sebesar 0% menyebabkan PM10 bernilai 33,300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hubungan Konsentrasi PM10 dengan Kecepatan Angin Rata-Rata Harian

Gambar 14 menunjukkan FFR berkorelasi positif (sig 0,00) dengan PM10. Apabila

FFR bernilai 1 knot (nilai minimal FFR pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 22,126 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Apabila FFR bernilai 9 knot (nilai maksimal FFR pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 62,374 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Klaster 1 dengan simbol lingkaran (kejadian tanpa kabut asap) tidak signifikan (sig 0,63) berkorelasi negatif, sementara klaster 2 dengan simbol segi empat yang mewakili kejadian dengan kabut asap signifikan berkorelasi positif (sig 0,04). FFR memiliki pengaruh terhadap PM10 hanya pada saat kabut asap. Apabila FFR bernilai 1 knot (nilai minimal FFR pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 26,142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat tanpa kabut asap. Apabila FFR bernilai 9 knot (nilai maksimal FFR pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 21,526 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Perlu FFR lebih besar dari 46 knot untuk menyebabkan PM10 bernilai 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Apabila FFR bernilai 1 knot (nilai minimal FFR pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 32,980 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat kabut asap. Apabila FFR bernilai 9 knot (nilai maksimal FFR pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 65,052 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

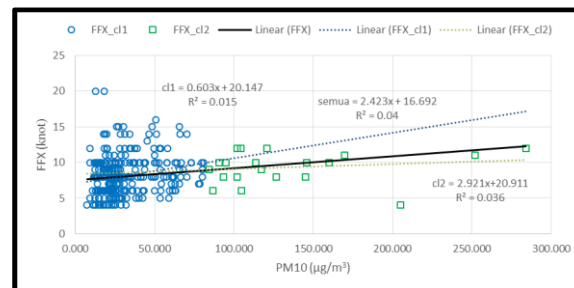


Gambar 14. Hubungan PM10 dan FFR

FFR memudahkan penyebaran kebakaran sehingga saat kondisi kabut asap FFR memiliki pengaruh yang signifikan walaupun cukup kecil terhadap PM10. Hal ini sesuai dengan fungsi indeks penyebaran kebakaran ISI pada FDRS dimana angin berperan besar dalam penyebaran kebakaran dan berkorelasi positif. Beberapa penelitian lain juga menyimpulkan FFR berkorelasi positif dengan PM10 (Barry & Chorley, 2003; Giri *et al.*, 2008). Saat kondisi tanpa kabut asap dimana kebakaran tidak terjadi, pengaruh FFR menjadi tidak signifikan.

Beberapa penelitian yang dilakukan saat kondisi tanpa kabut asap memang menyimpulkan FFR tidak signifikan korelasi negatifnya dengan PM10 (Bhaskar & Mehta, 2010; Mkoma & Mjemah, 2011), atau signifikan tetapi berkorelasi negatif karena FFR yang rendah membuat polusi mengendap dan FFR yang tinggi membuat polusi terberai (Desonie, 2007; Huang *et al.*, 2015; Krynicka & Drzeniecka-Osiadacz, 2013). Penelitian khusus mengenai karakteristik hubungan PM10 dan angin yang dinamis menemukan bahwa korelasi negatif terjadi saat sumber PM10 berasal dari lokasi internal, korelasi menjadi positif saat sumber berasal dari luar (Kang *et al.*, 2013). Hal ini menunjukkan sumber PM10 pada saat kabut asap di Banjarbaru berasal dari sumber luar.

Hubungan Konsentrasi PM10 dengan Kecepatan Angin Maksimum Harian



Gambar 15. Hubungan PM10 dan FFX

Gambar 15 menunjukkan FFX signifikan (0,000) berkorelasi positif (sig 0,00) dengan PM10. Apabila FFX bernilai 4 knot (nilai minimal FFX pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 26,384 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Apabila FFX bernilai 20 knot (nilai maksimal FFX pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 65,152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Klaster 1 dengan simbol lingkaran (kejadian tanpa kabut asap) tidak signifikan berkorelasi positif (sig 0,14), sementara klaster 2 dengan simbol segi empat yang mewakili kejadian dengan kabut asap berkorelasi positif (sig 0,01). FFX memiliki pengaruh terhadap PM10 hanya pada saat kabut asap. Apabila FFX bernilai 4 knot (nilai minimal FFX pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 22,559 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat tanpa

kabut asap. Apabila FFX bernilai 20 knot (nilai maksimal FFX pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 32,595 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Apabila FFX bernilai 4 knot (nilai minimal FFX pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 32,595 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ saat kabut asap. Apabila FFX bernilai 20 knot (nilai maksimal FFX pada tahun 2015) maka PM10 bernilai 79,331 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

FFX memudahkan penyebaran kebakaran dan lebih besar daripada FFR sehingga saat kondisi kabut asap FFX memiliki pengaruh yang signifikan walaupun cukup kecil terhadap PM10. Hal ini juga sesuai dengan fungsi indeks penyebaran kebakaran ISI pada FDRS dimana angin berperan besar dalam penyebaran kebakaran dan berkorelasi positif (Groot *et al.*, 2007; Lawson & Armitage, 2008; Suciarti, 2013). Penelitian lain mengungkapkan adanya korelasi negatif FFX dengan PM10 (Desonie, 2007; Krynicka & Drzeniecka-Osiadacz, 2013).

KESIMPULAN

1. Hubungan antara unsur cuaca harian dengan konsentrasi PM10:
 - a. Saat kondisi tanpa kabut asap; TP dan V% signifikan berkorelasi positif, RHP dan CH signifikan berkorelasi negatif, sisanya yaitu P, FFR, dan FFX tidak signifikan pengaruhnya.
 - b. Saat kondisi kabut asap; TP, V%, P, FFR, dan FFX signifikan berkorelasi positif, RH, dan CH signifikan berkorelasi negatif.
2. Kondisi unsur cuaca 10 menit dan konsentrasi PM10 di udara ambien saat kondisi normal adalah RH tinggi, T tinggi, dan konsentrasi PM10 dibawah ambang baku mutu saat kondisi normal sedangkan saat terjadi kabut asap RH rendah, T rendah, dan konsentrasi PM10 diatas ambang baku mutu.
3. Konsentrasi PM10 saat kabut asap mencapai status berbahaya/diatas ambang baku mutu menjelang awal musim kemarau sampai menjelang akhir

musim kemarau pada pukul 02.20 dini hari sampai 12.30 siang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. A., Shuhaimi, S. H., Ying, T. Y., & Shapee, A. H. (2011). The study of seasonal variation of PM10 concentration in Peninsular, Sabah and Sarawak. *Malaysian Meteorological Department*, 9, 1–28.
- Antara News. (2015). *Kabut asap di Banjarbaru makin pekat*. Diambil dari <http://www.antaranews.com/berita/517923/kabut-asap-di-banjarbaru-makin-pekak> [14 September 2015].
- Anwar, A., Juneng, L., Othman, M. R., & Latif, M. T. (2010). Correlation between hotspots and air quality in Pekanbaru, Riau, Indonesia in 2006–2007. *Sains Malaysiana*, 39(2), 169–174.
- Barmpadimos, I., Hueglin, C., Keller, J., Henne, S., & Prévôt, A. S. H. (2011). Influence of meteorology on PM10 trends and variability in Switzerland from 1991 to 2008. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(4), 1813–1835. <https://doi.org/10.5194/acp-11-1813-2011>
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2009). *Atmosphere, weather and climate*. Routledge.
- Bhaskar, B. V., & Mehta, V. M. (2010). Atmospheric particulate pollutants and their relationship with meteorology in Ahmedabad. *Aerosol and Air Quality Research*, 10(4), 301–315. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2009.10.0069>
- Bhugwant, C., & Brémaud, P. (2001). Simultaneous Measurements of Black Carbon, PM 10, Ozone and NO x

- Variability at a Locally Polluted Island in the Southern Tropics. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 39(x), 261–280.
- Chantara, S. (2012). PM10 and Its Chemical Composition : A Case Study in Chiang Mai, Thailand. *Air Quality – Monitoring and Modeling*, 230.
- Desonie, D. (2007). *Atmosphere*. New York: Chelsea House.
- Evangelopoulos, V., Zoras, S., Triantafyllou, A. G., & Albanis, T. A. (2006). PM10 -PM2.5 time series and fractal analysis. *Global NEST Journal*, 8(3), 234–240.
- Faisal, F., & Ulfah, A. M. (2009). Korelasi antara Total Curah Hujan terhadap Kadar SPM pada Tahun 2004-2008 di Jakarta dalam Proses Pembersihan Atmosfer oleh Hujan. *Buletin Meteorologi dan Geofisika*, 5(3), 263–274.
- Giarno, Dupe, Z. L., & Mustofa, M. A. (2012). Kajian awal musim hujan dan awal musim kemarau di indonesia. *Jurnal Mkg*, 13(1), 1–8.
- Giri, D., Murthy, K., & Adhikary, P. R. (2008). The Influence of Meteorological Conditions on PM 10 Concentrations in Kathmandu Valley. *International Journal of Environmental Resources*, 2(1), 49–60.
<https://doi.org/10.4316/GEOREVIEW.2015.25.1.278>
- Gomišček, B., Hauck, H., Stopper, S., & Preining, O. (2004). Spatial and temporal variations of PM1, PM2.5, PM10 and particle number concentration during the AUPHEP - Project. *Atmospheric Environment*, 38(24), 3917–3934.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.20>
- [04.03.056](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.056)
- Groot, W. J. De, Field, R. D., Brady, M. A., Roswintarti, O., & Mohamad, M. (2007). Development of the Indonesian and Malaysian fire danger rating systems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(1), 165–180.
<https://doi.org/10.1007/s11027-006-9043-8>
- Guerard, J. B. (2013). Introduction to financial forecasting in investment analysis. *Introduction to Financial Forecasting in Investment Analysis*, (2007), 1–236.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5239-3>
- Huang, W., Long, E., Wang, J., Huang, R., & Ma, L. (2015). Characterizing spatial distribution and temporal variation of PM10 and PM2.5 mass concentrations in an urban area of Southwest China. *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 842–848.
<https://doi.org/10.5094/APR.2015.093>
- Ilahi, A. F., & Nurhayati. (2012). Karakteristik dan klimatologi polutan PM10 di bukit kototabang. *Megasains*, 3(3), 138–153.
- Kalabokas, P. D., Adamopoulos, A. D., & Viras, L. G. (2010). Atmospheric Pm 10 Particle Concentration Measurements At Central and Peripheral Urban Sites in Athens and Thessaloniki, Greece. *Global NEST Journal*, 12(1), 71–83.
- Kang, D. Du, Lee, D. I., Jung, J.-W., & Kim, K. (2013). Dynamical Characteristics in Time Series Between PM10 and Wind Speed. *Proceedings of the 2013 International Conference on Environment, Energy, Ecosystems and Development Dynamical*, 1(1), 78–82.

- Krynicka, J., & Drzeniecka-Osiadacz, A. (2013). Analysis of Variability in PM 10 Concentration in the Wrocław Agglomeration. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4), 1091–1099.
- Lawson, B. D., & Armitage, O. B. (2008). *Weather Guide Canadian Forest Fire Danger Rating System*. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent. Edmonton, AB. <https://doi.org/10.5558/tfc65258-4>
- MacQueen, J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1(233), 281–297. <https://doi.org/citeulike-article-id:6083430>
- Makra, L., Mayer, H., Mika, J., Santa, T., & Holst, J. (2010). Variations of traffic related air pollution on different time scales in Szeged, Hungary and Freiburg, Germany. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(1–2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.005>
- Mkoma, S. L., & Mjemah, I. C. (2011). Influence of Meteorology on Ambient Air Quality in Morogoro, Tanzania. *International of Environmental Sciences*, 1(6), 1107–1115. <https://doi.org/10.6088/ijes.00106020006>
- Oyelade, O. J., Oladipupo, O. O., & Obagbuwa, I. C. (2010). Application of k Means Clustering algorithm for prediction of Students Academic Performance. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 7(1), 292–295. Diambil dari <http://arxiv.org/abs/1002.2425>
- Pohjola, M. A., Kousa, A., Kukkonen, J., Harkonen, J., Karppinen, A., Aarnio, P., & Koskentalo, T. (2002). the Spatial and Temporal Variation of Measurement Urban PM10 and PM2.5 in the Helsinki Metropolitan Area. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*. <https://doi.org/10.1023/A:1021379116579>
- Rashid, M., Yunus, S., Mat, R., Baharun, S., & Lestari, P. (2014). PM 10 black carbon and ionic species concentration of urban atmosphere in Makassar of South Sulawesi Province, Indonesia. *Atmospheric Pollution Research*, 5(4), 610–615. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.070>
- Satsangi, P. G., Kulshrestha, a, Taneja, A., & Rao, P. S. P. (2011). Measurements of PM 10 and PM 2.5 aerosols in Agra, a semi-arid region of India. *Indian Journal of Radio and Space Physics*, 40(August), 203–210.
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric. from Air Pollution to Climate Change*. <https://doi.org/10.1021/ja985605y>
- Shaadan, N., Mohd Deni, S., & Jemain, A. A. (2012). Assessing and Comparing PM 10 Pollutant Behaviour using Functional Data Approach. *Sains Malaysiana*, 41(11), 1335–1344.
- Suciarti. (2013). Sistem Informasi Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan dan Lahan Dengan Menggunakan Fire Weather Index (FWI) dan SIG Arcview. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1), 1–9.
- Tiwari, S., Chate, D. M., Pragya, P., Ali, K., & Bisht, D. S. F. (2012). Variations in mass of the PM 10, PM 2.5 and PM 1 during the monsoon and the winter at New Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(1), 20–29.

<https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.06.0075>

- Turyanti, A. (2011). Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi terhadap Konsentrasi PM10 menggunakan Regresi Linier Berganda (Studi Kasus: Daerah Dago Pakar dan Cisaranten, Bandung). *J. Agromet Indonesia*, 25(1), 29–36.
- Ulfah, A., & Sulistya, W. (2015). Penentuan Kriteria Musim Alternatif Di Wilayah Jawa Timur. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 16(3), 145–153.
- Wang, Y. Q., Zhang, X. Y., Sun, J. Y., Zhang, X. C., Che, H. Z., & Li, Y. (2015). Spatial and temporal variations of the concentrations of PM10, PM2.5 and PM1 in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(23), 13585–13598.
<https://doi.org/10.5194/acp-15-13585-2015>
- Yadav, J., & Sharma, M. (2013). A Review of K-mean Algorithm. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(7), 2972–2976.
- Yoo, J. M., Lee, Y. R., Kim, D., Jeong, M. J., Stockwell, W. R., Kundu, P. K., ... Lee, S. J. (2014). New indices for wet scavenging of air pollutants (O3, CO, NO2, SO2, and PM10) by summertime rain. *Atmospheric Environment*, 82(2), 226–237.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.022>