

## PERBANDINGAN METODE IDW DAN SPLINE DALAM INTERPOLASI DATA CURAH HUJAN (STUDI KASUS CURAH HUJAN BULANAN DI JAWA TIMUR PERIODE 2012-2016)

Hanif Kurniadi<sup>1\*</sup>, Erlita Aprilia<sup>1</sup>, Joko Budi Utomo<sup>2</sup>, Andang Kurniawan<sup>1</sup>, Agus Safril<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*

<sup>2</sup>*Stasiun Klimatologi Malang*

\*Email : [hanifkurniadi21@gmail.com](mailto:hanifkurniadi21@gmail.com)

### ABSTRAK

Curah hujan merupakan aspek penting dalam penentuan awal musim, baik musim hujan maupun musim kemarau. Dalam hal ini, ketersediaan data curah hujan yang lengkap di suatu wilayah sangat dibutuhkan. Dengan melakukan interpolasi spasial, data curah hujan dapat menduga nilai dari data kosong pada setiap titik. IDW dengan  $NN=8$  dan  $P=5$  merupakan metode interpolasi yang digunakan sekarang. Dalam penelitian ini, metode Spline digunakan sebagai metode alternatif. Kelemahan dari metode Spline yang menghasilkan nilai-nilai negatif dan nilai-nilai yang sangat tinggi dimodifikasi dengan batasan luaran 0–1500. Data curah hujan di 195 titik di Jawa Timur yang didapatkan dari Stasiun Klimatologi Malang periode 2012–2016 digunakan sebagai data acuan. Penelitian ini bertujuan membandingkan metode interpolasi IDW dan Spline untuk mendapatkan metode interpolasi yang lebih baik. Interpolasi dilakukan dengan cara validasi silang lipat 10 (*ten-fold cross validation*) dengan menghilangkan 10% titik yang nantinya digunakan kembali sebagai validator, kemudian 90% titik digunakan untuk interpolasi. Proses tersebut diulang sampai seluruh titik menjadi bahan interpolasi dan titik validasi. Data tersebut diolah menggunakan piranti lunak R Statistics dan diinterpolasi dengan SAGA GIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode IDW lebih baik daripada metode Spline karena nilai RMSE dari metode IDW lebih kecil dibandingkan dengan metode Spline. Nilai RMSE pada metode IDW sebesar 114,64, sedangkan metode Spline sebesar 208,94. MAE dua metode menunjukkan hal yang sama. Dapat terlihat bahwa metode IDW yang digunakan sekarang dapat dibuktikan memiliki hasil interpolasi yang lebih baik melalui validasi silang.

**Kata kunci :** IDW, Spline, validasi silang

### ABSTRACT

*Rainfall is an important aspect in determining the beginning of the season, both the rainy season and the dry season. In this case, the availability of complete rainfall data in a region is needed. By doing spatial interpolation, rainfall data can guess the value of the blank data at each point. IDW with  $NN = 8$  and  $P = 5$  is the interpolation method used now. In this study, Spline method is used as an alternative method. The disadvantages of the Spline method that produce negative values and very high values are modified with 0-1500 output constraints. Rainfall data in 195 points in East Java obtained from Klimatology Station Malang period 2012-2016 is used as reference data. This study aimed to compare the interpolation method of IDW and Spline to get better interpolation method. Interpolation is done by means of 10-fold cross validation by eliminating 10% of the point that will be re-used as validator, then 90% point is used for interpolation. The process is repeated until all points become interpolated materials and validation points. The data is processed using R Statistics software and interpolated with SAGA GIS. The results show that the IDW method is better than the Spline method because the RMSE value of the IDW method is smaller than the Spline method. The RMSE value on the IDW method is 114.64, while the Spline method is 208.94. MAE from two methods show the same thing. It can be seen that the currently used IDW method can be proven to have better interpolation results through cross validation.*

**Keywords :** IDW, Spline, cross validation

## PENDAHULUAN

Hujan merupakan salah satu bentuk cair dari presipitasi yang jatuh ke tanah sebagai hasil dari kondensasi uap air di atmosfer. Banyaknya hujan yang turun ke bumi dapat diukur dengan suatu ukuran yang disebut curah hujan. Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau millimeter (1 inci = 25,4 mm), dimana curah hujan 1 mm menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan 1 mm, jika air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer [1].

Dalam perhitungan untuk menentukan awal musim hujan dan awal musim kemarau diperlukan ketersediaan data curah hujan yang lengkap dan akurat. Keterbatasan dalam pengumpulan data, menyebabkan pengukuran langsung data spasial secara kontinu menjadi hal yang sangat tidak mungkin dilakukan. Untuk menentukan nilai atau titik baru pada suatu permukaan dari suatu nilai atau titik yang diamati, diperlukan interpolasi, dimana teknik ini juga digunakan untuk memprediksi variabel yang tidak terukur pada berbagai lokasi yang tidak tertera banyaknya. Dalam metode interpolasi, fungsi probabilistik diterapkan untuk menghasilkan nilai variabel yang akan diprediksi [2].

Interpolasi adalah suatu metode atau fungsi matematika yang menduga nilai pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia. Dalam konteks pemetaan, interpolasi merupakan proses estimasi nilai pada wilayah-wilayah yang tidak disampel atau diukur untuk keperluan penyusunan peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah yang dipetakan. Pemilihan teknik interpolasi spasial sangat krusial dalam hal kajian ilmiah karena tidak ada metode interpolasi spasial yang selalu baik di semua tempat dan waktu [3].

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, metode interpolasi IDW menunjukkan hasil yang lebih baik daripada metode interpolasi Spline [4]. Namun, pada beberapa penelitian lain pernah dihasilkan metode interpolasi Spline yang lebih baik daripada metode interpolasi IDW. Metode interpolasi IDW dapat digunakan untuk membuat data grid Pulau Jawa tanpa melakukan perbandingan dengan metode interpolasi Spline [5]. Pada penelitian lain, metode Spline menghasilkan interpolasi yang mirip dengan *Ordinary Kriging* dan lebih bagus daripada IDW [6]. Metode Spline menunjukkan hasil yang lebih bagus daripada metode IDW dalam interpolasi data curah hujan dengan intensitas yang tinggi [7]. Pada penelitian Borges (2015) hasil interpolasi IDW dan Spline menunjukkan kemiripan. Oleh karena perbedaan hasil tersebut, perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan metode interpolasi yang lebih baik.

Penelitian kali ini bertujuan membandingkan metode interpolasi IDW dan Spline untuk mendapatkan metode interpolasi yang lebih baik. Data yang dipakai dalam penelitian kali ini adalah data curah hujan bulanan yang metode pengamatan dan penjumlahannya mengikuti standar BMKG. Data curah hujan di 195 titik di Jawa Timur yang didapatkan dari Stasiun Klimatologi Malang periode 2012–2016 digunakan sebagai data acuan untuk diinterpolasi. Interpolasi dilakukan dengan cara validasi silang lipat 10 (*ten-fold cross validation*) dengan menghilangkan 10% titik yang nantinya digunakan kembali sebagai validator, kemudian 90% titik digunakan untuk interpolasi. Proses tersebut diulang sampai seluruh titik menjadi bahan interpolasi dan titik validasi.

## METODE

Penelitian ini menggunakan data curah hujan di 195 titik di Jawa Timur yang didapatkan dari Stasiun Klimatologi Malang periode 2012–2016. Jawa Timur terletak antara 111,0' BT hingga 114,4' BT dan garis lintang 7,12" LS dan 8,48' LS dengan luas wilayah 47.157,72 km<sup>2</sup>.



Gambar 1. Peta Provinsi Jawa Timur

Metode interpolasi yang digunakan untuk mengolah data curah hujan tersebut yaitu dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*) dan metode Spline. Metode IDW merupakan metode interpolasi konvensional yang memperhitungkan jarak sebagai bobot. Jarak yang dimaksud disini adalah jarak (datar) dari titik data (sampel) terhadap blok yang akan diestimasi. Jadi semakin dekat jarak antara titik sampel dan blok yang akan diestimasi maka semakin besar bobotnya, begitu juga sebaliknya. Persamaan model interpolasi IDW disajikan sebagai berikut :

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^s Z_i \frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_i^k}}$$

Keterangan :

$Z_0$  = Perkiraan nilai pada titik 0

$Z_i$  = Apakah nilai z pada titik kontrol i

$d_i$  = Jarak antara titik i dan titik 0

k = Semakin besar k, semakin besar pengaruh poin tetangga

S = Jumlah titik S yang digunakan

Metode Spline merupakan metode yang mengestimasi nilai dengan menggunakan fungsi matematika yang meminimalisir total kelengkungan permukaan. Dalam ArcGIS, interpolasi Spline termasuk dalam fungsi radial dasar atau *Base Function Radial* (RBF). Teknik ini biasa digunakan dalam GIS, namun dengan ketentuan data memiliki varian rendah. RBF banyak digunakan untuk peramalan data *time series* musiman, seperti curah hujan, debit sungai, produksi tanaman pertanian, dan lain-lain. Metode interpolasi Spline memiliki kemampuan dalam memprediksi nilai minimum dan maksimum dengan efek *stretching* data. Persamaan yang digunakan Spline adalah dengan menggunakan formula interpolasi permukaan, dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j)$$

Keterangan:

j = 1,2,...n

N = jumlah titik

$\lambda_j$  = koefisien yang ditemukan dari system persamaan linier

$r_j$  = jarak antara titik ke titik j

$T_{(x,y)}$  dan  $R(r)$  didefinisikan secara berbeda, berdasarkan cara seleksi (*regularized spline* dan *tension spline*).

Data curah hujan tersebut kemudian diolah menggunakan piranti lunak SAGA 6.10 dan R Statistics. Piranti lunak SAGA yang digunakan dalam penelitian ini merupakan piranti lunak yang sudah banyak digunakan dalam beberapa penelitian [8]. Langkah – langkah pengolahan data dibagi menjadi delapan tahap yaitu :

1. Mendapatkan data curah hujan di 195 titik di Jawa Timur dari Stasiun Klimatologi Malang periode 2012–2016.
2. Mengubah format data .xls menjadi data .csv dengan menggunakan piranti lunak olah data.
3. Data curah hujan dalam bentuk .csv selanjutnya diolah menggunakan piranti lunak SAGA 6.1.0 untuk diinterpolasi. Metode interpolasi yang digunakan yaitu metode IDW dan metode spline.
4. Melakukan validasi silang lipat 10 (*ten-fold cross validation*) menggunakan command prompt.
5. Hasil validasi silang diolah dengan piranti lunak R Statistics menggunakan *script* yang telah dibuat.
6. Mengkonversi hasil pengolahan R Statistis menjadi format .xls dalam piranti lunak olah data.
7. Menghitung nilai MAE (*Mean Absolute Error*) dan RMSE (*Root Mean Squared Error*) dari data curah hujan yang telah diolah untuk mengetahui metode interpolasi yang lebih baik. MAE (*Mean Absolute Error*) dan RMSE (*Root Mean Squared Error*) merupakan ukuran skalar dari akurasi perkiraan untuk prediksi kontinu yang umum digunakan. MAE adalah rata-

rata aritmatika dari nilai absolut selisih data asli dengan data perkiraan. RMSE adalah akar kuadrat dari rata-rata selisih kuadrat dari data observasi dan perkiraan. Karena RMSE dihitung dengan mengkuadratkan kesalahan perkiraan, maka RMSE akan lebih sensitif terhadap kesalahan yang lebih besar daripada MAE, dan juga akan lebih sensitif terhadap pencilan. RMSE memiliki dimensi fisik yang sama dengan perkiraan dan observasi, dan juga dapat dianggap sebagai besaran umum untuk kesalahan perkiraan [9]. Rumus menghitung MAE dan RMSE sebagai berikut :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |y_k - o_k|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - o_k)^2}$$

Keterangan :

$y_k$  : nilai yang diamati (observasi) pada lokasi k

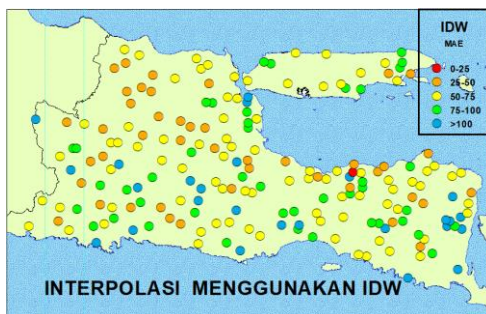
$o_k$  : nilai yang diamati (observasi) pada lokasi k dengan metode MAE

n : Jumlah pasangan nilai yang diobservasi dan diprediksi

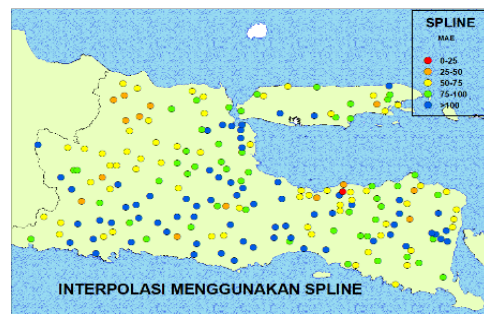
8. Pengeplotan data curah hujan yang telah diolah, menggunakan piranti lunak ArcGIS 10.3.

## HASIL

### Analisis menggunakan interpolasi gambar sebaran titik



Gambar 2. Sebaran CH IDW



Gambar 3. Sebaran CH Spline

Hasil interpolasi IDW menunjukkan nilai yang lebih baik pada data sampel yang lokasinya berdekatan dibandingkan data yang lokasinya lebih jauh, karena metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel. Dengan melihat nilai MAE IDW yang lebih kecil daripada metode Spline, metode IDW cukup baik dalam menduga nilai pada suatu lokasi. Titik sampel yang digunakan cukup rapat seperti yang ditunjukkan gambar 2, dengan melihat dominasi sebaran titik berwarna kuning sebagai indikator nilai MAE pada rentang 50-75. Sebaliknya pada gambar 3 menunjukkan dominasi sebaran titik berwarna biru sebagai indikator nilai MAE pada rentang lebih dari 100. Semakin kecil nilai MAE berarti semakin akurat hasilnya. Dengan demikian, metode interpolasi IDW lebih baik daripada Spline.

Kelebihan dari metode Spline adalah kemampuan untuk menghasilkan akurasi permukaan yang cukup baik walaupun data yang digunakan hanya sedikit dan akan lebih baik daripada IDW jika banyak curah hujan yang terjadi dengan intensitas tinggi seperti gambar 3. Namun, metode ini kurang baik jika diaplikasikan untuk situasi dimana terdapat perbedaan nilai yang signifikan pada jarak yang sangat dekat.

**Analisis menggunakan RMSE dan MAE**

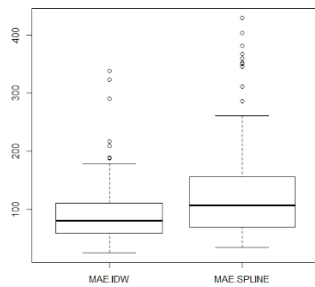
Table 1. Nilai RMSE dan MAE Hasil berupa angka

WAKTU		SPLINE	IDW
SEMUA	RMSE	208.94	114.65
	MAE	101.15	71.77
DJF	RMSE	266.09	158.58
	MAE	164.08	116.00
JJA	RMSE	185.55	78.22
	MAE	61.47	38.35
2015	RMSE	303.55	92.38
	MAE	133.32	53.28
2016	RMSE	225.21	128.34
	MAE	124.91	90.51

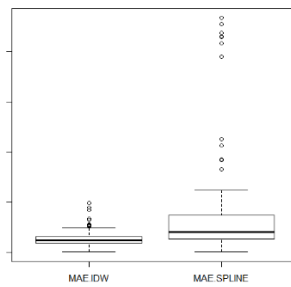
Tabel 2. Nilai RMSE dan MAE Hasil berupa Warna

WAKTU		SPLINE	IDW
SEMUA	RMSE	1.76	1.46
	MAE	1.12	0.93
DJF	RMSE	215.49	176.79
	MAE	350.57	327.26
JJA	RMSE	107.18	59.06
	MAE	84.88	63.10
2015	RMSE	376.25	206.96
	MAE	198.59	140.3878
2016	RMSE	348.7387	269.4657
	MAE	251.3811	230.4046

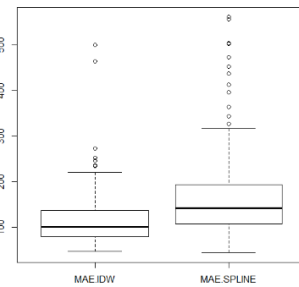
Dengan membandingkan hasil perhitungan RMSE dan MAE kedua metode yang digunakan, dapat dilihat bahwa metode IDW menghasilkan nilai kesalahan (*error*) yang lebih kecil dibandingkan metode Spline. Tabel diatas merupakan hasil perhitungan RMSE dan MAE pada berbagai kondisi, yaitu pada semua titik pengamatan, pada saat bulan basah atau DJF (Desember, Januari, dan Februari), pada saat bulan kering atau JJA (Juni, Juli, dan Agustus), tahun 2015 saat terjadi *El-Nino*, dan tahun 2016 saat terjadi *La-Nina*, yang menunjukkan bahwa metode IDW lebih baik daripada metode Spline. Hal tersebut dikarenakan nilai RMSE dan MAE pada metode IDW di semua kondisi selalu lebih kecil daripada nilai RMSE dan MAE pada metode Spline. Hal ini dapat diperkuat dengan hasil *boxplot* MAE IDW yang selalu lebih pendek daripada MAE Spline yang memiliki arti bahwa pada metode IDW keberagaman atau penyebaran data pengamatannya lebih kecil.



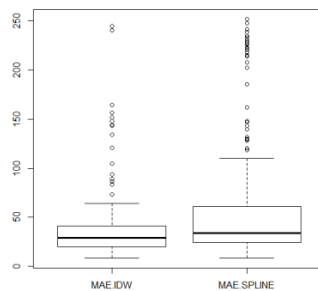
Gambar 4. *Boxplot* 2016



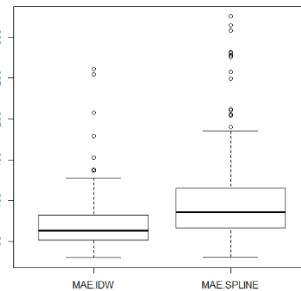
Gambar 5. *Boxplot* 2015



Gambar 6. *Boxplot* DJF

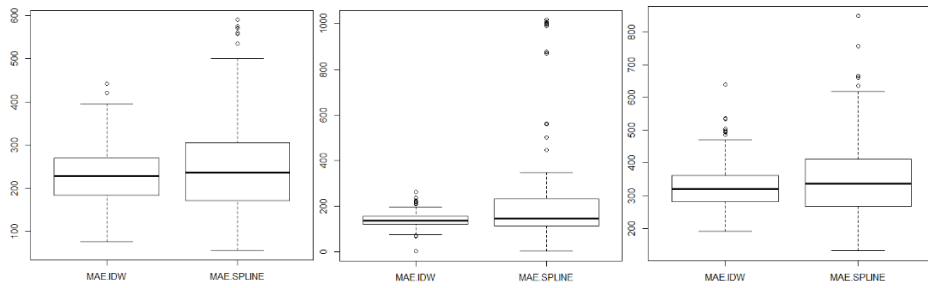


Gambar 7. *Boxplot* JJA



Gambar 8. *Boxplot* Semua Titik

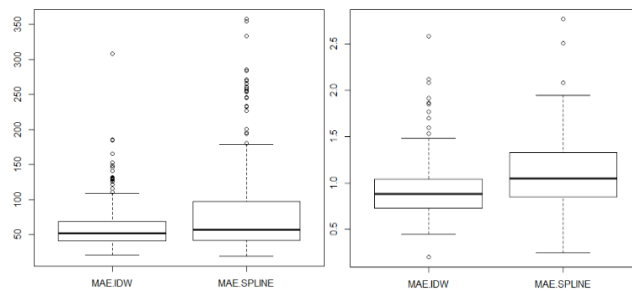
Nilai RMSE dan MAE dengan hasil angka pada *boxplot*



Gambar 9. *Boxplot* 2016

Gambar 10. *Boxplot* 2015

Gambar 11. *Boxplot* DJF



Gambar 12. *Boxplot* JJA

Gambar 13. *Boxplot* Semua Titik

Nilai RMSE dan MAE dengan hasil warna pada *boxplot*

*Boxplot* adalah salah satu cara dalam statistik deskriptif untuk menggambarkan secara grafik dari data numeris. *Boxplot* juga dapat menyampaikan informasi variasi dan penempatan atau lokasi pada data yang telah ditetapkan, terutama untuk mendeteksi dan menggambarkan perubahan variasi dan lokasi antar kelompok data yang berbeda. Pada gambar 4 sampai gambar 13 semua hasil *boxplot* menunjukkan bahwa metode IDW lebih baik daripada metode Spline yang dapat dilihat dari panjang kotak dalam arah vertikalnya, yakni panjang kotak IDW tidak lebih panjang dari kotak Spline.

Tabel 3. Nilai RMSE dan MAE yang menunjukkan Spline lebih baik (hasil berupa angka)

RMSE		DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
IDW	2016	153.6863	171.9266	135.4838	134.3858	83.60516	98.39168	104.6792	90.97739	118.1558	145.1034	157.1457	112.2812
SPLINE		382.4264	408.8275	138.448	140.4663	89.25349	102.6992	111.3666	89.85022	126.8965	146.3373	153.4918	400.1992
	2015	DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
		144.8036	76.48273	6.775106	19.28892	12.86208	6.107288	43.73197	74.19455	115.1065	144.3478	136.9761	122.2199
	2014	DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
		171.4402	105.2418	25.61596	1.339334	66.65516	124.6149	58.73856	66.61924	121.0917	125.0562	153.9609	144.2258
	2013	DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
		170.9484	109.3062	26.2475	333.4358	67.61008	120.6691	59.21591	67.9816	121.1677	132.0893	160.8142	144.3181
	2012	DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
		183.5929	108.8873	74.08781	31.03564	38.19904	133.2002	118.5502	103.1092	130.1985	152.7732	145.2854	214.1742
	2012	DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
		182.7578	105.6928	75.05843	33.51543	335.672	123.1001	127.7074	110.9141	134.5029	157.7306	152.2641	222.3796
	2012	DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
		166.9079	99.92863	54.51403	24.80354	39.47638	36.76506	48.38327	95.0768	107.6438	122.9842	146.9576	192.8941
	2012	DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
		173.2593	104.027	58.26016	26.40387	42.30815	333.9759	49.33872	96.80223	106.7093	131.9385	290.9488	209.6045

Tabel 4. Nilai RMSE dan MAE yang menunjukkan Spline lebih baik (hasil berupa warna)

MAE		DES	NOV	OKT	SEPT	AGS	JUL	JUN	MEI	APR	MAR	FEB	JAN
IDW	2016	115.2648	122.8269	105.7662	86.75026	54.20308	63.12513	73.9841	67.93385	88.26103	109.0297	115.9486	83.51719
		238.0824	252.2902	106.5046	89.73385	56.80308	68.12	80.42923	67.60359	94.66103	110.2523	117.123	221.238
SPLINE	2015	107.1031	53.37474	2.015464	3.207216	5.89641	2.063918	23.47577	53.83969	90.8634	106.497	101.3809	90.69227
		315.8623	117.7655	84.21134	57.5268	6.747692	82.62474	102.2284	133.018	170.9634	183.4351	173.5552	175.4211
	2014	127.5605	79.85795	10.58974	0.216495	27.64564	59.7559	40.39333	45.79487	91.66103	92.17641	105.1118	111.2544
		128.1359	84.15436	12.15179	82.48454	28.51744	58.04205	42.14718	46.92308	90.95846	97.00718	113.1292	112.2779
	2013	144.8291	79.42103	43.57641	7.277436	11.72474	76.07333	88.51867	80.27179	99.68344	112.0918	108.1579	157.0215
		148.8065	78.96872	43.65026	8.928718	93.75567	76.63128	95.01508	86.91282	102.0099	119.0262	112.7641	165.3579
	2012	121.0062	77.26462	35.05641	6.405128	5.953846	14.32526	27.51641	65.26051	80.97077	94.99641	109.0387	141.1185
		126.3467	78.91692	35.90359	7.379487	8.235897	95.48505	27.92564	68.73436	78.97795	100.0631	165.5644	152.4118

Pengujian metode yang menghasilkan bahwa metode IDW lebih baik daripada metode Spline, bukan berarti bahwa semua data menunjukkan hal tersebut. Karena masih terdapat beberapa nilai RMSE dan MAE Spline yang lebih kecil daripada IDW seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 dan 4. Hal ini dapat terjadi pada bulan dengan intensitas curah hujan tinggi yang relatif stabil.

## SIMPULAN

Dari gambar persebaran titik curah hujan terlihat bahwa titik-titikanya sangat rapat, kondisi ini sangat cocok dengan metode IDW dibandingkan dengan metode Spline. Pada perhitungan RMSE (*Root Mean Squared Error*) dan MAE (*Mean Absolute Error*), nilai pada metode IDW yang terdapat dalam tabel pada berbagai kondisi penelitian dan visualisasi pada *boxplot* tidak pernah lebih besar daripada nilai pada metode Spline. Hal ini menunjukkan tingkat kesalahan (*error*) pada metode IDW lebih kecil dibandingkan metode Spline, sehingga metode IDW memiliki tingkat akurasi yang lebih baik. Setelah dilakukan berbagai uji, diketahui bahwa metode IDW lebih baik daripada metode Spline. Walaupun terdapat pada bulan dan tahun tertentu yang menunjukkan metode Spline lebih baik daripada metode IDW, hal ini sangat jarang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Tjasyono HK, *Klimatologi*, Bandung : ITB, 2004.
- [2] A. Kristianto, "Interpolasi spasial curah hujan berdasarkan faktor elevasi berbasis metode geostatistik," in *Kajian Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Jakarta, Akademi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2011, pp. 1-39.
- [3] A. Bhowmik, "Evaluation of spastial interpolation techniques for mapping climate variables with low sample density : A case study using a new gridded dataset of Bangladesh," M. Sc. thesis, Erasmus Mundus, 2012.
- [4] M. Yang, "Benchmarking rainfall interpolation over the Netherlands," M. Sc. thesis, University of Twente, 2015.
- [5] Yanto, Ben Livneh, Balaji Rajagopalan, "Development of a gridded meteorological dataset over Java island, Indonesia 1985–2014," 2017. doi: 10.1038/sdata.2017.72
- [6] S.K. Adhikary, N. Muttill, A.G. Yilmaz, "Cokriging for enhanced spatial interpolation of rainfall in two Australian catchments," *Hydrological Processes*, vol. 31, p. 2143–2161, 2017. doi: 10.1002/hyp.11163
- [7] C. C.F. Plouffe, Colin Robertson, Lalith Chandrapala, "Comparing interpolation techniques for monthly rainfall mapping using multiple evaluation criteria and auxiliary data sources : A case study of Sri Lanka," *Environmental Modelling & Software*, vol. 67, pp. 57-71, 2015. doi: 10.1016/j.envsoft.2015.01.011

- [8] O. Conrad, *et al.*, "System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4," *Geoscientific Model Development*, vol. 8, p. 1991–2007, 2015. doi:10.5194/gmd-8-1991-2015
- [9] D. S. Wilks, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2nd ed., 2006.
- [10] BMKG, *Verifikasi Prakiraan Iklim Indonesia*, Jakarta, 2012.
- [11] BMKG, *Peraturan Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Nomor 4 Tahun 2006 Tentang Pengamatan dan Pengelolaan Data Iklim Di Lingkungan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, Jakarta, 2016.
- [12] Pablo de Amorim Borges, *et al.*, "Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil," *Theor Appl Climatol*, 2015. doi: 10.1007/s00704-014-1359-9
- [13] P.A. Bostan, G.B.M. Heuvelink, S.Z. Akyurek, "Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 19, pp. 115-126, 2012. doi: 10.1016/j.jag.2012.04.010
- [14] T. Hengl, *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*, Amsterdam, 2009.
- [15] W. Taesombat, Nutchant Sriwongsitanon, "Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques," *Science Asia*, vol. 35, p. 268–275, 2009. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2009.35.268
- [16] B. S. Hadi, "Metode interpolasi dalam studi geografi (ulasan singkat dan contoh aplikasinya)," *Geomedia*, vol. 11, no. 2, pp. 231-240, 2013.
- [17] APIK, *Modul Pelatihan Software QGIS dan PLUGIN OTOKLIM*, BMKG, 2017.