

STUDI ANALISA KEBUTUHAN JUMLAH STASIUN HUJAN BERDASARKAN EVALUASI PERBANDINGAN ANTARA ANALISA HIDROGRAF BANJIR DAN BANJIR HISTORIS PADA DAS LIMBOTO PROVINSI GORONTALO

Haris Djafar¹, Lily Montarcih Limantara², Runi Asmaranto³

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya

Abstrak: Dalam kegiatan analisis hidrologi, kesalahan dalam pemantauan data dasar hidrologi dalam suatu daerah pengaliran sungai akan menghasilkan data siap pakai yang tidak benar dan mengakibatkan hasil perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang tidak efisien dan efektif. Kesalahan tersebut biasanya disebabkan oleh jumlah stasiun hujan dalam DAS yang kurang memadai dan pola penyebaran stasiun hujan yang tidak merata. Tujuan penelitian adalah memperoleh hasil evaluasi jumlah stasiun hujan kondisi eksisting berdasarkan standar WMO, mengetahui perbandingan hasil besarnya debit banjir rancangan antara metode Kagan-Rodda dengan debit banjir rancangan kondisi jaringan stasiun hujan eksisting dan memperoleh rekomendasi jumlah dan letak stasiun hujan yang baru beserta luas daerah pengaruhnya. Penelitian ini dilakukan di DAS limboto, dengan luas DAS sebesar 902,91 km². Hasil dari penelitian ini adalah merekomendasikan 16 stasiun hujan dimana 4 stasiun hujan merupakan stasiun hujan eksisting, dengan kerapatan setiap stasiun hujan sebesar 8,038 km.

Kata kunci: Banjir, Kagan-rodde, Stasiun Hujan, Kerapatan Stasiun Hujan.

Abstract: In the hydrologic analysis activities, the Errors in basic hydrological data monitoring in a drainage area of the river will result in data are not correct and lead to the result of planning and management of water resources is not efficient and effective. The errors are usually caused by a number of rainfall stations in the watershed inadequate and dispersal patterns of uneven rainfall stations. The purpose of this study is to obtain the results of the evaluation of the amount of rainfall stations WMO standards based on existing conditions, to determine the comparison between the design flood discharge Kagan-Rodda method and the design flood discharge conditions using the existing station network, and to obtain recommendations amount and location of rainfall stations positions. This study conducted in watershed of Limboto, with an area of watershed is 902.91 km². The results of this study are recommending 16 rainfall stations where the 4 stations is the existing stations, with each station rainfall density is 8.038 km.

Keywords: Flood, Kagan-rodde, Rain Station, Rain Station density.

Banjir yang terjadi di DAS Limboto, sejak beberapa waktu terakhir selang tahun 2010 sampai dengan 2013 terus meluas. Hal tersebut diakibatkan adanya kebijakan pemerintah daerah Propinsi Gorontalo yang tidak memperhatikan keseimbangan lingkungan. Selain itu kurang memadainya infrastruktur pengairan utamanya stasiun hujan sebagai penghasil keakuratan data hidrologi dalam mendeteksi datangnya banjir.

Datangnya banjir yang mendadak menyebabkan masyarakat tidak memiliki waktu untuk menyelamatkan harta bendanya. Padahal sebenarnya datangnya banjir dapat diprediksi atau diketahui lebih dini sehingga dapat disampaikan peringatan, sehingga bila informasi datangnya banjir dari hulu dapat disampaikan dan diterima oleh masyarakat yang berada di hilir maka tindakan evakuasi dan persiapan meng-

hadapi bencana dapat dilakukan untuk memperkecil dampak negatif yang ditimbulkan.

Dalam kegiatan analisis hidrologi, utamanya untuk memprediksi banjir, dibutuhkan data hidrologi seperti data curah hujan, debit air, data iklim dan lain sebagainya. Kesalahan dalam pemantauan data dasar hidrologi dalam suatu daerah pengaliran sungai akan menghasilkan data siap pakai yang tidak benar dan mengakibatkan hasil perencanaan, penelitian, dan pengelolaan sumber daya air yang tidak efisien dan efektif.

Kesalahan tersebut biasanya disebabkan oleh jumlah stasiun hujan dalam DAS yang kurang memadai dan pola penyebaran stasiun hujan yang tidak merata. Untuk mengatasi masalah tersebut menurut WMO (*World Meteorological Organization*), maka suatu DAS harus memiliki stasiun hujan yang mewakili kerapatan jaringan stasiun hujan minimum seluas 100-250 km²/stasiun.

Tujuan dari penelitian ini adalah: (1). Memperoleh hasil evaluasi jumlah stasiun hujan kondisi eksisting berdasarkan standar WMO; (2). Mengetahui perbandingan hasil besarnya debit banjir rancangan antara metode Kagan-Rodda dengan hasil besarnya debit banjir rancangan kondisi jaringan stasiun hujan eksisting; (3). Memperoleh rekomendasi jumlah dan letak posisi stasiun hujan yang baru beserta luas daerah pengaruhnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Daerah Aliran Sungai

Suatu alur yang memanjang di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan disebut alur sungai dan perpaduan antara alur sungai dan aliran air di dalamnya disebut sungai (Sosroddarsono, 1985). Daerah dimana sungai memperoleh air merupakan daerah tangkapan air hujan yang biasanya disebut daerah aliran sungai. Dengan demikian, DAS dapat dipandang sebagai suatu unit kesatuan wilayah tempat air hujan mengumpul ke sungai menjadi aliran sungai (Asdak, 2004).

Analisis Data Hujan

Uji konsistensi data dilakukan terhadap data curah hujan harian maksimum yang dimaksudkan untuk mengetahui adanya penyimpangan data hujan, sehingga dapat disimpulkan apakah data tersebut layak dipakai dalam perhitungan analisis hidrologi atau tidak. Uji yang akan digunakan dalam studi ini adalah kurva massa ganda (*double mass curve*). Dengan cara ini dapat membandingkan curah hujan tahunan atau musiman akumulatif dari stasiun yang harus di-

teliti dengan harga-harga akumulatif curah hujan rata-rata dari suatu jaringan stasiun dasar yang bersesuaian. Banyaknya stasiun dasar tidak kurang dari 10 (ada juga yang menetapkan tidak kurang dari 5) (Subarkah, 1980).

Bila dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya. Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rencana pemanfaatan air dan rencana pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah (*area rainfall*), bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (*point rainfall*). Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm (Sosroddarsono, 1993).

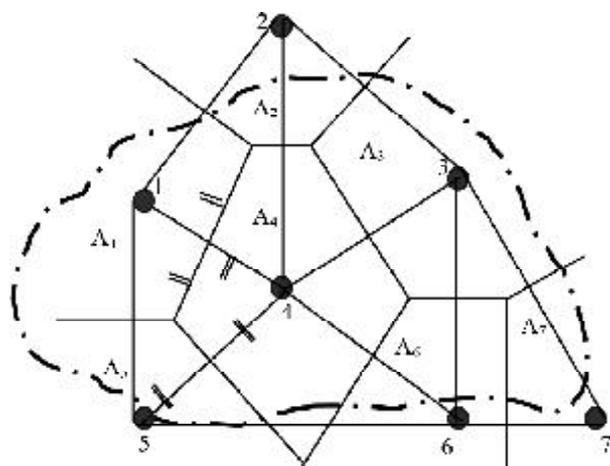
Dalam studi ini metode yang digunakan untuk menentukan tinggi curah hujan rerata daerah yaitu Metode Poligon Thiessen, karena Poligon Thiessen dapat digunakan untuk menentukan luas pengaruh daerah stasiun hujan yang memiliki sebaran tidak merata.

Perbandingan luas poligon untuk setiap stasiun yang besarnya A_n/A . Thiessen memberi rumusan sebagai berikut:

$$R = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

dengan:

- R : Curah hujan daerah rata-rata
- R₁, R₂, ..., R_n : Curah hujan di tiap titik pos Curah hujan
- A₁, A₂, ..., A_n : Luas daerah Thiessen yang mewakili titik pos curah hujan
- n : Jumlah pos curah hujan



Gambar 1. Cara Poligon Thiessen.

Sumber: Soemarto, 1987.

Analisis Curah Hujan Rancangan

Untuk menentukan curah hujan rancangan maksimum dipakai berbagai metode, misalnya Log Normal, Log Pearson Tipe III, Gumbel, dan lain-lain. Dalam studi ini memakai metode Log Pearson Tipe III karena tipe ini dapat digunakan untuk berbagai macam sebaran data.

Perhitungan curah hujan rancangan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III, dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$\log X = \log \bar{X} + G \cdot S$$

dengan:

$\log X$ = Nilai logaritma curah hujan rancangan (mm)

$\log \bar{X}$ = Nilai rata-rata logaritma dari curah hujan maksimum tahunan (mm)

S = Nilai deviasi standar

G = Merupakan konstanta yang didapatkan dari tabel Log Pearson Tipe III dari hubungan antara C_s dan periode ulang (T)

Uji kesesuaian distribusi digunakan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipilih dapat digunakan atau tidak untuk serangkaian data yang tersedia. Dalam studi ini, uji kesesuaian distribusi yang digunakan adalah Uji *Smirnov-Kolmogorov* dan Uji *Chi-Square*.

Analisis Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit banjir terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi kala ulang tertentu, atau debit dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Untuk menganalisa debit banjir rancangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode hidrograf yang dilakukan dengan menggunakan bantuan model hidrograf satuan sintetis dan metode non hidrograf yang dilakukan dengan bantuan teknik analisis frekuensi yang memerlukan ketersediaan data debit tahunan pada lokasi yang dikaji.

Perhitungan distribusi hujan jam-jaman pada studi ini menggunakan rumus Mononobe sebagai berikut:

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \left| \frac{t}{T} \right|^{2/3}$$

dengan:

R_T = intensitas hujan rata-rata dalam T jam

R_{24} = curah hujan dalam 1 hari (mm)

t = waktu konsentrasi hujan (jam)

T = waktu mulai hujan

Dalam studi ini dilakukan perhitungan hidrograf banjir dengan metode hidrograf satuan Sintetik Nakayasu karena hidrograf ini adalah hidrograf satuan

sintetik yang menggunakan parameter yang lengkap sehingga hasilnya dapat diandalkan.

Jaringan Stasiun Hujan

Jaringan stasiun hujan mempunyai fungsi yang sangat penting, yaitu untuk mengurangi variabilitas besaran kejadian atau mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan pemahaman terhadap besaran yang terukur maupun terinterpolasi (Made, 1987 dalam Harto, 1993). Setiap stasiun hujan memiliki luasan pengaruh (*sphere of influence*) yang merupakan daerah dimana kejadian-kejadian di dalamnya menunjukkan keterikatan atau koreksi dengan salah satu kejadian yang diamati stasiun lainnya di dalam daerah tersebut.

Jaringan stasiun hujan (*rainfall network*) harus mencakup kerapatan jaringan serta kemungkinan pertukaran datanya. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan penetapan jaringan stasiun hujan primer dan sekunder.

Kerapatan dan Pola Penyebaran Stasiun Hujan

Data hujan yang diperoleh dari stasiun penakar hujan merupakan data hujan lokal yang hanya mewakili pengukuran hujan untuk luas daerah tertentu. Sehingga untuk menentukan besarnya curah hujan suatu DAS diperlukan beberapa stasiun penakar hujan yang tersebar di dalam DAS yang bersangkutan dengan kerapatan dan pola penyebaran yang memadai.

Analisis Jaringan Kagan-Rodda

Koefisien variasi (*variation coefficient*) adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

Koefisien variasi yang dihitung berdasarkan hujan bulanan biasanya rendah (<0.6) tetapi untuk hujan harian pada umumnya sangat tinggi (>0.6), hal ini mudah dipahami karena sifat hujan di daerah tropik seperti Indonesia yang sangat bervariasi dan tidak merata (Harto, 1993). Dasar analisis yang digunakan dalam jaringan Kagan-Rodda adalah sifat hujan yang merata dengan variasi yang rendah (0.3-0.6). Cara Kagan-Rodda menggunakan hubungan antara kerapatan jaringan (jarak antar stasiun) dengan sifat statistik hujan pada masing-masing stasiun.

Ukuran yang digunakan untuk menyatakan beberapa kuat hubungan antara dua variabel (terutama data kuantitatif) dinamakan koefisien korelasi (r) (Dejan, 1976). Pada umumnya nilai r bervariasi dari -1 melalui 0 hingga +1. Bila r = 0 atau mendekati 0, maka hubungan antara kedua variabel sangat lemah atau tidak ada hubungan sama sekali. Bila r = +1

atau mendekati +1, maka korelasi antara kedua variabel dikatakan positif dan sangat kuat. Bila $r = -1$ atau mendekati -1, maka korelasi antara kedua variabel dikatakan kuat dan negatif.

Hidrometri

Secara singkat hidrometri didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang pengukuran benda cair (Anonim, 1983). Dan di bidang keairan, hidrometri diartikan dengan pengukuran debit yang menyangkut kualitas dan kuantitas, yaitu besarnya volume air yang melewati suatu penampang dalam satuan waktu (m^3/det atau l/det). Dengan demikian seri data hidrometri memiliki peran yang sangat penting sepanjang masa, guna memenuhi kebutuhan yang terkait dengan pengelolaan DAS (Daerah Aliran Sungai).

Metode Collins

Hidrograf satuan yang dihitung dari suatu kasus banjir belum merupakan hidrograf yang mewakili DAS yang bersangkutan. Oleh sebab itu diperlukan hidrograf satuan yang diturunkan dari banyak kasus banjir, kemudian dirata-rata. Namun tidak ada petunjuk tentang berapa jumlah kasus banjir yang diperlukan untuk memperoleh hidrograf satuan ini.

Dalam analisis, perlu dipilih kasus yang menguntungkan yaitu dipilih hidrograf yang terpisah (*isolated*) dan mempunyai satu puncak (*single peak*) serta mempunyai hujan yang cukup dan pencatatan distribusi hujan jam-jaman. Syarat tersebut dimaksudkan untuk mempermudah perhitungan. Sedangkan untuk mendapatkan hidrograf satuan pengamatan, dilakukan cara analisis numerik, salah satunya adalah Metode Collins.

Jika data observasi (hidrograf pengamatan) salah, akan mengakibatkan pencatatan hujan salah. Jika hal tersebut terjadi, berarti teori hidrograf satuan tidak mencerminkan karakteristik DAS yang bersangkutan dan hidrograf satuan tidak bias dianggap mewakili DAS tersebut. Metode Collins merupakan cara untuk mendapatkan hidrograf satuan pengamatan dengan data hujan periode kompleks.

Kesalahan Relatif

Untuk memperoleh keyakinan bahwa stasiun-stasiun yang dipilih dari hasil evaluasi berdasarkan analisis jaringan Kagan-Rodda cukup mewakili dari jumlah stasiun hujan yang tersedia, maka dihitung prosentase perbedaan debit banjir rancangan yang diperoleh berdasarkan jaringan Kagan-Rodda dengan besarnya debit banjir rancangan berdasarkan jaringan yang tersedia (kondisi eksisting).

Penentuan kesalahan relatif dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Kr = \left(\frac{Xa - Xb}{Xa} \right) \approx 100\%$$

dengan:

Kr = Kesalahan relatif curah hujan rancangan (%)

Xa = Debit banjir historis ($m^3/detik$).

Xb = Debit banjir hasil analisis ($m^3/detik$)

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah analisis yang dilakukan dalam metodologi penelitian adalah: (1) Uji konsistensi data hujan. (2) Menghitung curah hujan rerata daerah. (3) Analisis distribusi frekuensi dan uji kesesuaian distribusi frekuensi. (4) Analisis debit banjir rancangan. (5) Analisis kerapatan stasiun hujan dan pola penyebaran stasiun hujan berdasarkan standar WMO (*world meteorological organization*). (6) Analisis jaringan stasiun hujan berdasarkan metode kagan-rodde. (7) Menghitung kesalahan relatif.

Secara grafis langkah-langkah pengerjaan digambarkan dalam bentuk bagan alir seperti Gambar 3.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa Curah Hujan

Data Curah Hujan Kondisi Eksisting

Pada lokasi studi terdapat empat stasiun hujan yang berpengaruh terhadap wilayah DAS Limboto, yaitu Stasiun Hujan Alo Datahu, Stasiun Hujan Biyonga Huludupitango, Stasiun Hujan Bulota Hepuhulawa, dan Stasiun Hujan Puhu Pilolalenga. Data hujan yang digunakan dalam analisa tersebut meliputi data curah hujan harian dengan periode pengamatan tahun 2003 sampai dengan tahun 2012.

Tabel 1. Data Curah Hujan Maksimum Tahunan DAS Limboto.

Tahun	Stasiun Hujan			
	Alo Datahu	Biyonga Huludupitango	Bulota Hepuhulawa	Puhu Pilolalenga
2003	80.00	417.00	130.00	70.50
2004	74.00	120.00	87.00	91.40
2005	61.50	80.00	96.00	122.30
2006	78.00	52.00	51.00	62.20
2007	76.00	148.00	50.00	69.70
2008	78.00	128.00	75.00	84.60
2009	56.00	70.00	42.00	57.60
2010	100.90	74.40	98.00	114.30
2011	58.80	53.70	56.30	101.90
2012	75.00	89.00	91.00	100.30

Sumber: BP DAS Limboto

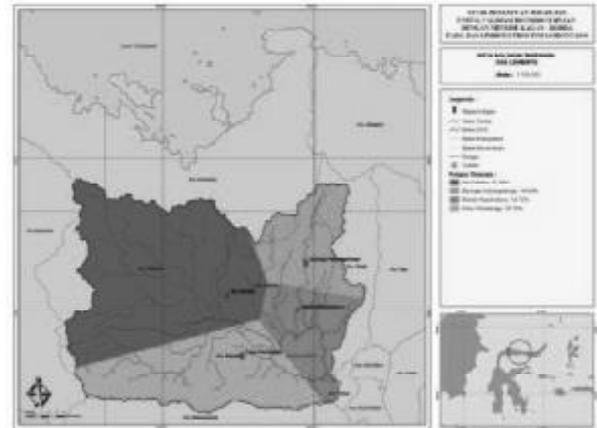
Curah Hujan Maksimum Rerata Daerah (Eksisting)

Penentuan curah hujan rerata daerah pada studi ini menggunakan metode Poligon Thiessen. Penggambaran Poligon Thiessen dilakukan dengan menginputkan masing-masing koordinat stasiun hujan pada *Software ArcView GIS 3.3* untuk mendapatkan peta sebaran stasiun hujan.

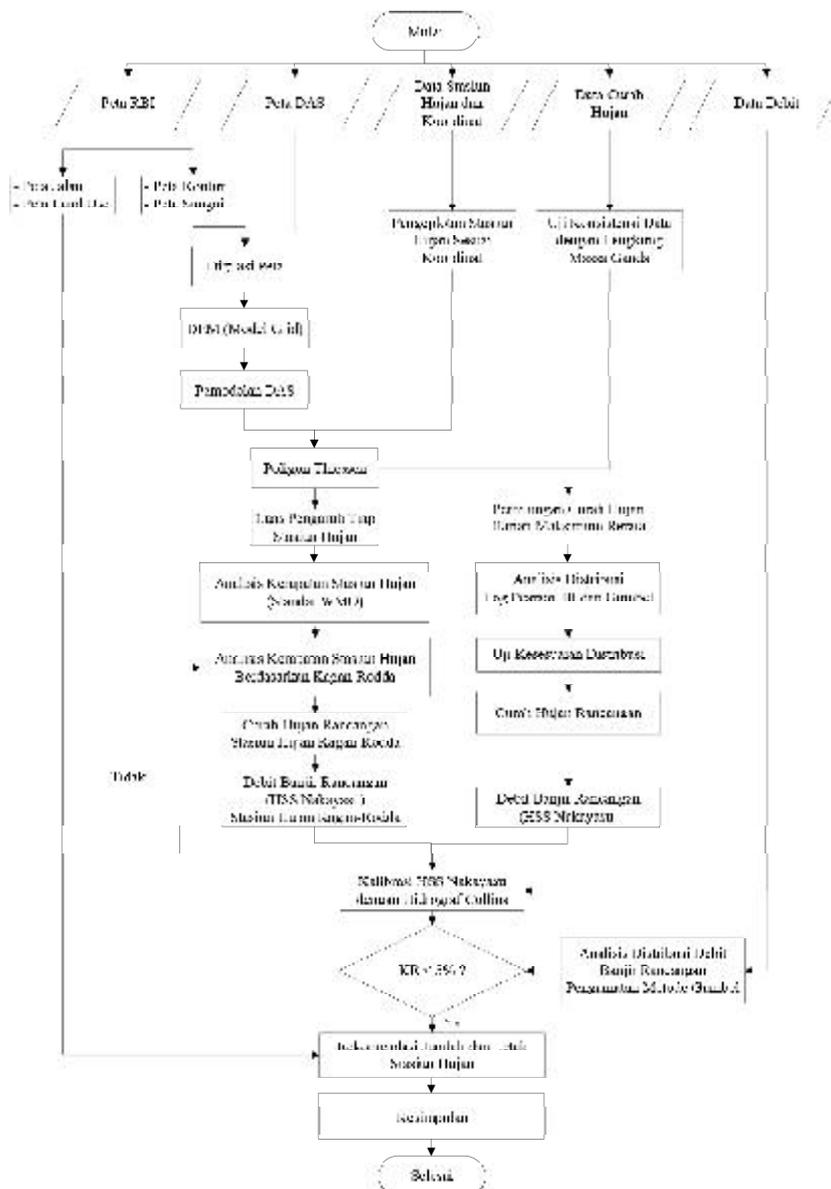
Dari hasil analisis Alo Datahu memiliki luas pengaruh sebesar 428,52 km² (47,5%), Stasiun Hujan Biyonga Huludupitango sebesar 232,82 km² (25,8%), Stasiun Hujan Bulota Hepuhulawa sebesar 126,76 km² (14%), dan Stasiun Hujan Puhu Pilolalenga sebesar 114,81 km² (12,7%).

Adapun hasil pembuatan Poligon Thiessen DAS Limboto disajikan pada Gambar 3 sedangkan hasil

perhitungan curah hujan maksimum harian rerata daerah dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Poligon Thiessen DAS Limboto



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tabel 2. Curah Hujan Maksimum Rerata Daerah DAS Limboto.

No.	Tahun	Salinan Thiessen				CH Rerata
		Stasiun Dabala	Stasiun H. Lumpang	Stasiun H. Pungkuwa	Stasiun P. Limboto	
1	2003	80	41	30	70	122,306
2	2004	74	40	31	91	80,863
3	2005	68,5	31	33	122	78,841
4	2006	75	32	31	75,0	75,285
5	2007	76	39	32	60	91,775
6	2008	86	33,5	32	35,8	102,52
7	2009	86,5	33,5	32	37,8	82,903
8	2010	100,9	34	33	111,2	95,31
9	2011	96,8	33,7	33,2	121,1	82,681
10	2012	75	33	31	103,1	87,093

Sumber: Analisa Spasial ArcView GIS 3.3

Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan peluang tertentu. Dalam studi ini, metode analisis hujan rancangan yang digunakan adalah metode Log Pearson Tipe III. Untuk perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III.

No.	Tahun	Xi (mm)	P (%)	Log X	Log Xi-Log X	(Log Xi-Log X) ²
1	2003	62.61	3.06	1.80	-0.14	-0.002606
2	2004	62.96	10.10	1.80	-0.14	-0.002472
3	2006	75.25	27.27	1.88	0.06	0.000193
4	2005	78.84	36.36	1.90	-0.04	-0.00063
5	2008	82.42	45.45	1.92	-0.02	-0.000006
6	2012	84.07	54.55	1.92	-0.01	-0.000001
7	2004	89.90	63.64	1.95	0.02	0.000007
8	2007	91.70	72.73	1.96	0.03	0.000023
9	2010	96.36	81.82	1.98	0.05	0.000092
10	2003	172.71	90.91	2.24	0.30	0.092825
Jumlah		895.61		19.34		0.022076
Rerata		89.56		1.93		
Stand. Dev				0.12		
Koef. Kemencengan (Ce)				1.98		

Sumber: Hasil Analisa

Adapun perhitungan hujan rancangan dengan berbagai kala ulang selengkapnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Hujan Rancangan dengan Berbagai Kala Ulang.

No	Tahun	Rata-rata (mm)	Sd (mm)	Kemencengan (Ce)	K	W. ulang (%)	K	Log	Q
1	1	1.25	0.12	1.98	1	1.70	1.70	0.23	1.70
2	2	1.25	0.12	1.98	2	2.30	1.90	0.28	2.30
3	5	1.25	0.12	1.98	5	3.00	2.10	0.31	3.00
4	10	1.25	0.12	1.98	10	3.70	2.10	0.32	3.70
5	25	1.25	0.12	1.98	25	4.70	2.20	0.33	4.70
6	50	1.25	0.12	1.98	50	5.70	2.20	0.33	5.70
7	100	1.25	0.12	1.98	100	6.70	2.20	0.33	6.70
8	1000	1.25	0.12	1.98	1000	9.70	2.20	0.33	9.70

Sumber: Hasil Analisa

- 1) Rata-rata
- 2) Kala Ulang
- 3) Sd (mm)
- 4) $(\log X - \log \bar{X}) / (s / \bar{X})$
- 5) $(\log X - \log \bar{X}) / (s / \bar{X})$
- 6) $(\log X - \log \bar{X}) / (s / \bar{X})$
- 7) $(1 - 1/n)^{1/2}$
- 8) $(1 - 1/n)^{1/2}$
- 9) tabel bilangan nilai distribusi log Pearson III berdasarkan nilai Ce dan berbagai kala ulang
- 10) $\log X - K.S. \log \bar{X}$
- 11) nilai log dari log X

Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Uji kesesuaian distribusi dimaksudkan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipilih dapat digunakan atau tidak, untuk serangkaian data yang tersedia.

Tabel 5. Perhitungan Uji Chi-Square.

Kc.	Fr	K	Log X	X	Batas Kelas	O	E	(O-E) ²
1	20	0.20	1.301	70.000	$X < 70.000$	2	2.5	0.1
2	50	0.50	1.702	79.700	$70.000 < X < 79.700$	2	2.5	0.1
3	25	0.25	1.397	80.400	$79.700 < X < 89.400$	5	2.5	2.5
4					$X > 89.400$	1	2.5	0.9
Jumlah						10	10	3.6

Tabel 6. Uji Smirnov Kolmogorof.

No	Xi (mm)	Log Xi	Fa	Fb	K	Pr	Ph	X (Pr-Ph)
1	62.61	1.797	0.031	-1.114	0.060	0.031	0.060	
2	62.96	1.799	0.182	-1.064	0.069	0.031	0.151	
3	75.25	1.878	0.273	-0.468	0.612	0.368	0.115	
4	78.84	1.897	0.384	0.364	0.622	0.478	0.114	
5	82.42	1.916	0.455	0.148	0.437	0.563	0.109	
6	84.07	1.925	0.515	-0.078	0.440	0.600	0.014	
7	89.90	1.951	0.636	0.166	0.364	0.656	0.030	
8	91.70	1.963	0.727	0.220	0.241	0.659	0.068	
9	96.36	1.979	0.818	0.365	0.287	0.703	0.115	
10	172.71	2.237	0.919	2.452	0.020	0.900	0.171	
Jumlah			19.343			3.183	0.151	
Rerata (log X)			1.934					
Sd (log X)			0.124					
Ce			1.981					

Sumber: Hasil Analisa

Analisa Jaringan Kagan-Rodda

Perhitungan perencanaan Kagan-Rodda pada DAS Limboto berdasarkan data curah hujan rata-rata harian maksimum dari metode *Poligon Thiessen*. Cara ini pada dasarnya menggunakan hubungan antara kerapatan jaringan dengan sifat statistik hujan pada masing-masing stasiun dapat ditentukan. Secara umum dapat ditentukan hubungan antara jarak antar stasiun dengan korelasi hujan dari masing-masing stasiun hujan. Apabila korelasi dapat ditentukan, maka jarak antar stasiun yang diperlukan dalam jaringan tertentu dapat ditentukan pula.

Tabel 7. Perhitungan Koefisien Variasi.

Tahun	CH. Rata-rata Harian Maksimum Daerah (Xi)	(Xi) ²
2003	172.708	6908.511
2004	89.899	0.095
2005	78.845	115.473
2006	75.245	205.197
2007	91.776	4.776
2008	82.422	51.366
2009	62.860	708.182
2010	95.364	53.327
2011	62.614	727.715
2012	84.073	30.442
X	89.59	
Sd	31.246	
Cv	0.3488	
Jumlah	895.907	8786.705

Sumber: Hasil Analisa

Panjang sisi segitiga Kagan untuk masing-masing jumlah stasiun hujan yang telah direncanakan sebagai berikut:

$$L = 1,07 \left| \frac{A}{\pi} \right|^{1/2}$$

$$L = 1,07 \left| \frac{902,91}{16} \right|^{1/2}$$

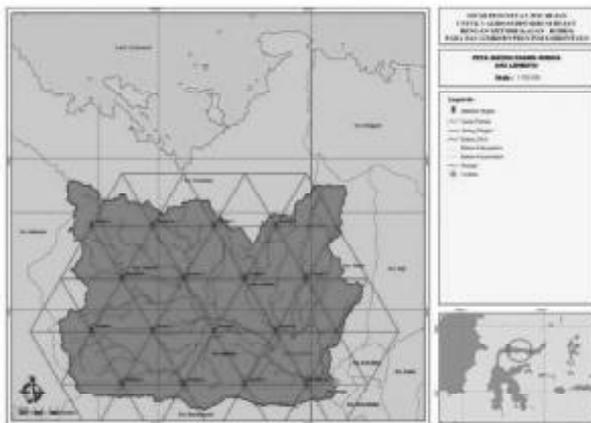
$$L = 8,038 \text{ km}$$

Tabel 8. Hubungan Korelasi Hujan dan Jarak Antar Stasiun Hujan.

Nama Stasiun	No Data	Peta Poligon	Biyonga	Bulota
Ak Dataru	0.000	35.448	73.523	90.764
		0.056	3.182	0.364
Peta Poligon		0.030	44.007	58.380
			3.380	0.378
Biyonga			0.000	17.821
				0.664
Bulota				0.000

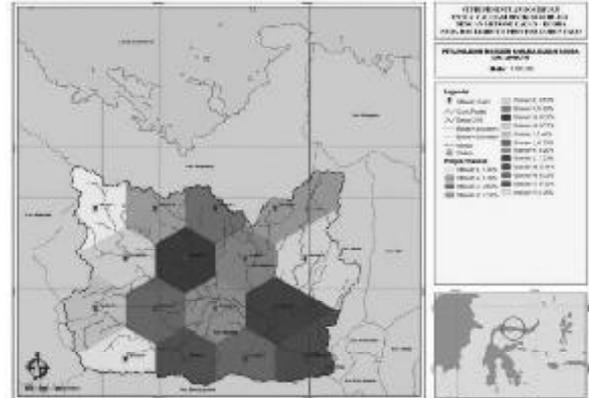
Sumber: Hasil Analisa

Dengan panjang sisi jaring sama dengan 8,038 km, maka dapat digambarkan jaringan Kagan-Rodda. Selanjutnya gambar jaringan diplotkan diatas peta DAS yang ditinjau dan dilakukan penggeseran sedemikian rupa sehingga jumlah simpul segitiga dalam DAS sama dengan jumlah stasiun hitung, dan simpul-simpul tersebut merupakan lokasi stasiun. Hasil perhitungan diplotkan berdasarkan Gambar 4.



Gambar 4. Peta Jaring-jaring Kagan-Rodda.

Hasil pembuatan Poligon Thiessen stasiun hujan analisa Kagan-Rodda disajikan pada Gambar 5 sedangkan luas pengaruh tiap stasiun hujan dan hasil perhitungan curah hujan maksimum harian rerata daerah dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.



Gambar 5. Poligon Thiessen Stasiun Hujan Hasil Analisa Kagan-Rodda.

Tabel 10. Luas Daerah Pengaruh Stasiun Hujan Hasil Analisa Kagan-Rodda.

No	Stasiun Hujan	Luas Daerah Pengaruh (km ²)	Luas Daerah Pengaruh (%)	Faktor Koreksi
1	Stasiun A	30.05	0.362	0.036
2	Stasiun B	40.54	0.487	0.049
3	Stasiun C	41.47	0.507	0.051
4	Stasiun D	64.41	0.784	0.079
5	Stasiun E	58.65	0.713	0.072
6	Stasiun F	55.85	0.687	0.069
7	Stasiun G	56.05	0.687	0.069
8	Stasiun H	61.10	0.747	0.075
9	Stasiun I	58.41	0.714	0.072
10	Stasiun J	56.95	0.694	0.070
11	Stasiun K	56.85	0.692	0.070
12	Stasiun L	65.26	0.797	0.080
13	Stasiun M	59.05	0.721	0.073
14	Stasiun N	47.93	0.587	0.059
15	Stasiun O	40.05	0.492	0.050
16	Stasiun P	47.42	0.580	0.058
Jumlah		107.91	130.00	1.00

Sumber: Hasil Analisa

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan peluang tertentu.

Tabel 11. Curah Hujan Maksimum Rerata Daerah (Hasil Analisa Kagan-Rodda)

No.	Tahun	Stasiun Hujan																Jumlah	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		
		0.8395	0.0648	0.3469	0.0713	0.0381	0.0423	0.0820	0.0677	0.0645	0.0630	0.0620	0.0723	0.0515	0.0623	0.0648	0.0523	0.0523	
1	2002	4.770	4.300	3.860	207.90	40.32	4.060	4.060	5.14	5.36	4.060	5.30	0.000	4.15	3.000	3.32	3.702	30.270	
2	2004	4.812	4.300	3.861	3.661	7.779	4.060	4.060	5.000	4.732	4.060	5.651	0.290	6.500	4.73	4.308	4.800	67.002	
3	2005	3.883	3.374	3.031	5.703	7.351	3.011	3.011	4.183	3.974	3.011	7.573	6.340	7.170	3.333	6.324	5.423	64.154	
4	2008	4.710	4.300	3.864	5.855	0.947	4.006	4.006	5.048	5.106	4.006	4.034	0.037	4.067	3.037	4.300	3.002	76.170	
5	2007	4.851	4.300	3.865	10.630	4.322	4.710	4.710	5.143	4.811	4.710	4.300	4.388	4.067	3.619	3.731	3.060	85.553	
6	2009	5.518	5.377	3.702	3.187	12.310	3.828	3.828	3.963	3.963	3.963	3.963	5.402	4.061	4.405	4.590	4.443	79.066	
7	2009	5.065	3.300	3.062	5.026	6.916	4.121	4.121	4.800	4.297	4.121	3.590	0.006	3.670	3.000	3.32	3.005	82.917	
8	2010	6.090	6.736	1.623	5.606	7.301	6.263	6.263	6.826	6.826	6.826	7.349	7.036	6.706	5.679	6.000	6.000	88.907	
9	2011	3.808	3.226	2.051	3.831	6.270	3.674	3.674	3.810	3.674	3.674	3.700	0.000	3.674	3.330	3.327	3.281	10.000	
10	2012	4.472	4.315	3.440	3.546	6.754	4.840	4.840	5.079	4.348	4.840	3.205	6.570	5.002	5.247	5.440	5.267	65.606	

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 12. Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III.

No.	tahun	Xi (mm)	P (%)	Log Xi	Log Xi Log X	(Log Xi Log Xi) ²
1	2009	62.92	9.06	1.93	-0.13	-0.002230
2	2011	69.51	19.10	1.94	-0.09	-0.000625
3	2005	76.17	27.27	1.88	0.05	0.00108
4	2008	79.09	38.38	1.90	-0.03	-0.000631
5	2009	84.13	45.45	1.92	0.00	0.000000
6	2007	85.45	54.54	1.93	0.00	0.000000
7	2012	85.61	63.64	1.93	0.00	0.000000
8	2009	87.60	72.73	1.94	0.01	0.000002
9	2010	99.95	81.82	2.00	0.07	0.003349
10	2003	138.07	90.91	2.14	0.21	0.009361
Jumlah		868.80		19.29		0.005708
Rerata		86.88		1.93		
Stand. Dev		10.83		0.39		
Koef. Kemiringan (Sk)				1.17		

Sumber : Hasil Analisa

Analisis Debit Banjir Rancangan

Untuk mengetahui hidrograf banjir rancangan perlu diketahui sebaran hujan jam-jaman dengan satuan interval tertentu. Curah hujan didistribusikan selama 12 jam, dengan asumsi bahwa hujan yang jatuh selama durasi 12 jam.

Tabel 13. Curah Hujan Jam-jaman.

Jam Ke-	RT = t . Rt - (t-1). R(t-1)			
1.0	R 1	=	0.437	R ₂₄
2.0	R 2	=	0.114	R ₂₄
3.0	R 3	=	0.080	R ₂₄
4.0	R 4	=	0.063	R ₂₄
5.0	R 5	=	0.054	R ₂₄
6.0	R 6	=	0.047	R ₂₄
7.0	R 7	=	0.042	R ₂₄
8.0	R 8	=	0.038	R ₂₄
9.0	R 9	=	0.035	R ₂₄
10.0	R 10	=	0.032	R ₂₄
11.0	R 11	=	0.030	R ₂₄
12.0	R 12	=	0.029	R ₂₄

Sumber : Hasil Analisa

Analisis Debit Banjir Rancangan HSS Nakayasu Kondisi Eksisting

Setelah dihitung ordinat hidrograf banjirnya, maka dapat dihitung debit banjir rancangan HSS Nakayasu dengan kala ulang tertentu.

Tabel 14. Curah Hujan Efektif Jam-jaman.

No.	Jam Ke	Rerata	Hujan Jam-jaman (mm)							
			2	5	10	25	50	100	1000	
1	1.00	0.437	2.29	0.07	0.12	15.54	15.87	15.82	35.51	
2	2.00	0.114	1.04	0.35	0.05	1.02	1.33	1.47	8.72	
3	3.00	0.080	1.21	1.45	2.00	2.54	3.04	2.83	8.41	
4	4.00	0.063	1.01	1.32	1.09	2.02	2.42	2.88	6.15	
5	5.00	0.054	0.88	1.11	1.34	1.11	2.24	2.44	4.25	
6	6.00	0.047	0.70	0.97	1.17	1.48	1.75	2.10	3.02	
7	7.00	0.042	0.61	0.81	1.05	1.24	1.52	1.91	3.42	
8	8.00	0.038	0.61	0.79	0.86	1.21	1.42	1.70	3.23	
9	9.00	0.035	0.64	0.78	0.81	1.15	1.33	1.64	2.94	
10	10.00	0.032	0.62	0.87	0.81	1.04	1.24	1.48	2.84	
11	11.00	0.030	0.71	0.85	0.96	0.91	1.15	1.31	2.47	
12	12.00	0.029	0.46	0.38	0.72	0.81	1.25	1.30	2.32	
Hujan Rancangan (mm)			70.73	106.87	125.88	150.54	160.22	227.78	308.42	
Koefisien Pengaliran			0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
Hujan Efektif (mm)			16.35	21.37	25.17	30.11	32.05	45.56	61.69	

Sumber : Hasil Analisa

Analisis Debit Banjir Rancangan HSS Nakayasu (Kagan-Rodda)

Setelah dihitung ordinat hidrograf banjirnya, maka dapat dihitung debit banjir rancangan HSS Nakayasu dengan kala ulang tertentu.

Tabel 15. Curah Hujan Efektif Jam-jaman.

No	Jam Ke	Rerata	Hujan Jam-jaman (mm)							
			2	5	10	25	50	100	1000	
1	1.00	0.437	2.15	0.88	0.88	11.97	12.87	14.48	25.04	
2	2.00	0.114	1.05	1.32	2.12	2.10	1.97	1.70	5.74	
3	3.00	0.080	1.30	1.15	1.30	2.11	2.36	2.64	3.75	
4	4.00	0.063	1.00	1.21	1.41	1.60	1.80	2.10	1.87	
5	5.00	0.054	0.81	1.12	1.21	1.42	1.59	1.71	2.52	
6	6.00	0.047	0.76	0.93	1.14	1.24	1.38	1.60	1.92	
7	7.00	0.042	0.88	0.82	0.82	1.11	1.24	1.39	1.51	
8	8.00	0.038	0.62	0.72	0.75	1.01	1.13	1.26	1.75	
9	9.00	0.035	0.67	0.72	0.75	0.93	1.04	1.16	1.67	
10	10.00	0.032	0.70	0.72	0.71	0.96	0.96	1.06	1.53	
11	11.00	0.030	0.80	0.81	0.83	0.90	0.90	1.01	1.42	
12	12.00	0.029	0.41	0.52	0.55	0.76	0.76	0.76	1.34	
Hujan Rancangan (mm)			81.1	86.0	102.7	107.81	147.75	151.70	205.15	
Koefisien Pengaliran			0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
Hujan Efektif (mm)			16.22	17.20	20.54	21.56	29.55	30.34	41.03	

Sumber : Hasil Analisa

Analisis Hidrograf Pengamatan HSS Metode Collins

Data aliran DAS yang dipakai untuk penelitian adalah pada saat terjadi debit maksimal berdasarkan data curah hujan harian yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Puhu Pilolalenga. Data aliran DAS yang dipakai untuk penelitian adalah pada saat terjadi debit maksimal berdasarkan data curah hujan harian yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Puhu Pilolalenga.

Data hidrograf muka air yang dipilih untuk analisis adalah data elevasi muka air dan hujan jam-jaman tanggal 20 September 2011.

Perhitungan hujan efektif dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 16. Perhitungan Hujan Efektif Metode Collins.

Luas DAS	A	907,9125
	BN	0,5
	φ	= 9,150456

No	Hari/Tanggal	Jam	Hujan	Indeks	Hujan		
			Rerata	φ	I efektif		
1	2	3	4	5	6		
1	20-Sep-11	0	-	1	0,161733	9,150456	0
2		1	-	2	5,851	9,150456	0
3		2	-	3	7,234	9,150456	0
4		3	-	4	9,121	9,150456	0
5		4	-	5	10,873	9,150456	1,722511
6		5	-	6	12,981	9,150456	3,810344

Sumber : Hasil Analisa

Selain Itu juga, dalam perhitungan debit metode Collins, perlu data debit yang di amati pada stasium AWLR di 4 Stasiun Pengamatan. Data yang di dapat

di lapangan adalah data yang terjadi pada saat pukul 12.00 WITA dan didapatkan data selama 24 jam pengamatan debit.

Hidrograf pengamatan dari 4 stasiun AWLR kemudian dicari waktu puncak dan debit puncak rata-rata. Untuk perhitungan T_p rata-rata dan Q_p rata-rata dapat dilihat pada tabel 17 berikut.

Tabel 17. Perhitungan T_p Rata-rata dan Q_p Rata-rata.

Hidrograf Observasi HSO	Waktu Puncak T_p	Debit Puncak Q_p	Waktu Dasar T_b
HSD 1	4	45,14562	11
HSD 2	4	3,396759	9
HSD 3	4	2,317944	7
HSD 4	4	1,760801	5
Rerata	4	13,15528	8

Sumber: Hasil Analisa

Kalibrasi Hidrograf Nakayasu

Kalibrasi hidrograf nakayasu dilakukan guna menyamakan antara debit pengamatan dengan debit nakayasu, sehingga di dapatkan model yang mendekati dengan kondisi yang terjadi dilapangan. Kalibrasi di lakukan dengan mencoba-coba nilai α hingga debit puncak dan bentuk hidrograf nakayasu sama mendekati hidrograf metode Collins. Nilai α yang di ambil sebagai koefisien penentu pada hidrograf nakayasu adalah sebesar 5,63 dimana awal nilai α diasumsikan sebesar 3. Selain itu juga, koefisien untuk mencari nilai t_r juga di sepakati menjadi 0,5 dimana awal di tentukan sebesar 0,75.

Dari hasil kalibrasi HSS Nakayasu terhadap hidrograf pengamatan 4 stasiun pengamatan. Yang dapat di ubah-ubah dalam kalibrasi adalah nilai alpha dan nilai faktor pengali t_r . Nilai dari ke-empat stasiun pengamatan tersebut dirata-ratakan sehingga didapatkan nilai Faktor Pengali t_r sebesar 0,5 dan nilai alpha rerata sebesar 5,63.

Perbandingan Debit Banjir Kondisi Eksisting dan Kagan-Rodda

Perbandingan banjir rancangan di analisis guna mengetahui kesalahan relative terkecil dari debit banjir rancangan dan debit banjir rancangan Kagan-Rodda terhadap debit maksimum pengamatan selama 10 tahun. Data debit pengamatan yang didapatkan adalah pada tahun 2003–2012, yang kemudian dihitung pada kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, 100 tahun dan 1000 tahun.

Pada kondisi eksiting, jika dibandingkan dengan debit banjir pengamatan didapatkan kesalahan relative sebesar 26,73 %, sedangkan debit banjir yang di dapatkan dari pembentukkan metode kagan-Rodda

menghasilkan kesalahan relatif sebesar 4,12%. Sehingga, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan stasiun dengan metode kagan-Rodda sangat efektif untuk dipergunakan karena, menghasilkan selisih kesalahan relatif yang lebih kecil dari kondisi eksisting dan kurang dari 5%.

Rekomendasi Berdasarkan Analisa Kagan-Rodda

Berdasarkan hasil analisa di atas, maka diperoleh stasiun rekomendasi yang pola peyebarannya sesuai dengan jaring-jaring Kagan-Rodda.

Tabel 18. Penyebaran Stasiun Hujan Hasil Analisa Kagan-Rodda.

No	Nama Stasiun	Tingkat Pengaliran		Tingkat Rekomendasi	
		Keadaan	Kapasitas	TR	TR
1	Stasiun A	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
2	Stasiun B	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
3	Stasiun C	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
4	Stasiun D	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
5	Stasiun E	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
6	Stasiun F	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
7	Stasiun G	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
8	Stasiun H	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
9	Stasiun I	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
10	Stasiun J	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
11	Stasiun K	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
12	Stasiun L	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
13	Stasiun M	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
14	Stasiun N	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
15	Stasiun O	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5
16	Stasiun P	Byonga	Geometrik	420-440/0,7	0,5/1,5

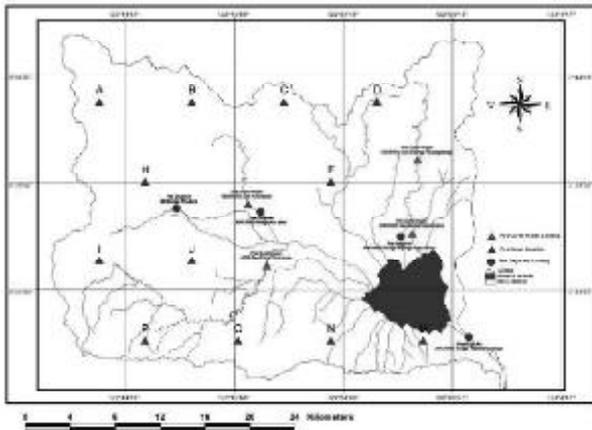
Sumber: Hasil Analisa

Pada analisis stasiun hujan dengan menggunakan metode Kagan-Rodda, menghasilkan sebaran stasiun hujan A hingga stasiun hujan P, yang telah di analisa pada Tabel 11. Akan tetapi pada hasil rekomendasi terdapat eliminasi stasiun hujan pada hasil analisa Kagan-Rodda, yaitu pada stasiun hujan E, G, K dan L. hal tersebut dikarenakan posisi letak stasiun tersebut hampir mendekati posisi stasiun hujan eksisting. Sehingga, diharapkan pada implementasi tidak mengeluarkan biaya banyak. Pada Tabel 18 sangat nampak pada Stasiun E digantikan dengan stasiun Byonga, stasiun G digantikan dengan stasiun Alo Datahu, Stasiun K digantikan dengan stasiun Puhu dan stasiun L digantikan dengan stasiun Bulota. Substitusi Stasiun hujan tersebut dipresentasikan pada Gambar 6 dibawah ini.

KESIMPULAN

Dari hasil pengumpulan data, analisa dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu.

Berdasarkan standar WMO (*World Meteorological Organization*) diketahui bahwa luas daerah pengaruh stasiun hujan di DAS Limboto dengan luas 902,91 km² sudah memenuhi standar WMO karena menurut standart WMO pada daerah pegunungan tropis cukup dipergunakan 3 stasiun, sedangkan stasiun hujan yang ada di DAS Limboto sebanyak 4 Stasiun hujan.



Gambar 6. Peta Penyebaran Stasiun Hujan Hasil Analisa Kagan-Rodda.

Besarnya nilai debit banjir rancangan maksimal pada kondisi eksisting untuk kala ulang 2 th, 5 th, 10 th, 25 th, 50 th, 100 th, dan 1000 th yaitu masing-masing sebesar 140,877 m³/dt, 183,470 m³/dt, 221,402 m³/dt, 281,784 m³/dt, 337,035 m³/dt, 402,237 m³/dt, dan 717,958 m³/dt. Sedangkan besarnya nilai debit banjir rancangan maksimal hasil analisa Kagan-Rodda untuk kala ulang 2 th, 5 th, 10 th, 25 th, 50 th, 100 th, dan 1000 th yaitu masing-masing sebesar 144,142 m³/dt, 175,622 m³/dt, 199,794 m³/dt, 233,997 m³/dt, 262,197 m³/dt, 292,778 m³/dt, dan 415,356 m³/dt.

Kesalahan relatif hidrograf pengamatan Metode Collins pada kondisi eksisting sebesar 26,73 % dan pada hasil analisa Kagan-Rodda sebesar 4,12 %. Sehingga hidrograf satuan Metode Collins hasil analisa Kagan-Rodda dapat digunakan sebagai hidrograf satuan pengamatan di DAS Limboto. Analisa jaringan Kagan-Rodda yang dilakukan berdasarkan hujan harian memberikan nilai koefisien variasi (Cv) sebesar 0,349 dan nilai koefisien korelasi sebesar ($r_{(0)}$) sebesar 0,664. Dengan diketahui pula panjang sisi jaring Kagan (L) sebesar 8,034 km, jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan untuk tingkat kesalahan perataan (Z_1) = 5% di DAS Limboto yaitu sebanyak 16 buah stasiun rekomendasi.

SARAN

Dari hasil analisa yang telah dilakukan terdapat beberapa kesimpulan yang bertujuan sebagai rekomendasi terhadap beberapa pihak, diantaranya.

Kepada Pemerintah Daerah Provinsi Gorontalo khususnya Balai Wilayah Sungai Sulawesi II selaku pengelola DAS Limboto untuk melakukan evaluasi kerapatan dan pola penyebaran stasiun hujan yang telah ada.

Kepada pihak peneliti lanjutan agar lebih banyak menggunakan variasi metode yang digunakan dalam perhitungan parameter-parameter hidrologi yang mempengaruhi perencanaan jaringan stasiun hujan Kagan-Rodda untuk mengevaluasi pola penyebaran dan kerapatan stasiun hujan pada DAS Limboto.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* (edisi kedua). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harto Br, Sri. 1986. *Optimasi Kerapatan Jaringan Stasiun Jaringan Hidrologi*. Yogyakarta: PAU Ilmu Teknik UGM.
- Harto Br, Sri. 1993. *Analisa Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Linsley, Ray K, M.A. Kohler dan JLH Pualhus. 1986. *Hidrologi Untuk Insinyur*. (Terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- Montarcih Limantara, Lily, Dr. Ir. M.Sc. 2010. *Hidrologi Praktis*. Bandung: Lubuk Agung.
- Priombodo, Agus., Lily Montarcih., Ery Suhartanto. 2012. Kajian Kalibrasi Hidrograf Representatif di DAS Samiran Kabupaten Pamekasan. *Jurnal Teknik Pengairan* Vol.3 : 195-203
- Soemarto, CD. 1986. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: Nova.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid 2*. Bandung: Nova.
- Sosroddarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 1977. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Subarkah, Imam. 1980. *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma