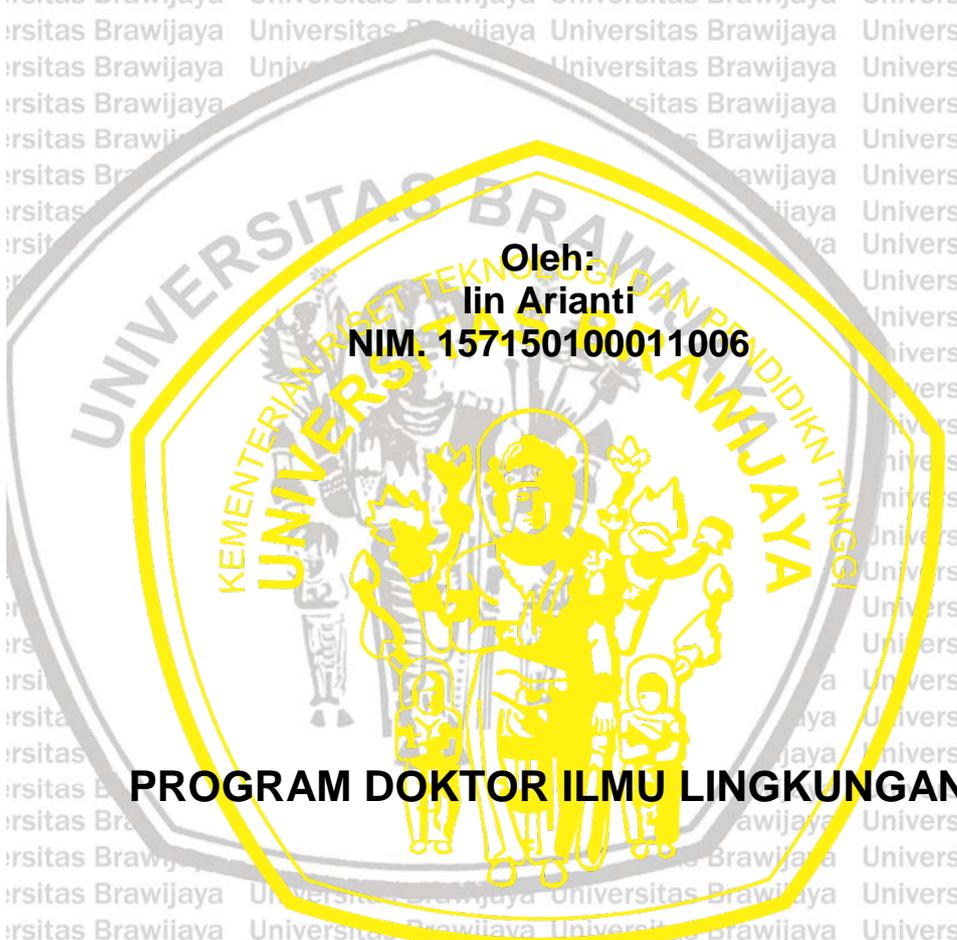


**PEMODELAN TINGKAT KERAWANAN BANJIR KOTA
PONTIANAK BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS
(SIG) SEBAGAI BASIS DATA UNTUK MENETAPKAN WILAYAH
PENGEMBANGAN KOTA YANG AMAN DARI BANJIR**

Oleh:
Lin Arianti
NIM. 157150100011006

PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019**



DISERTASI

PEMODELAN TINGKAT KERAWANAN BANJIR KOTA PONTIANAK BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) SEBAGAI BASIS DATA UNTUK MENETAPKAN WILAYAH PENGEMBANGAN KOTA YANG AMAN DARI BANJIR

Oleh:
Lin Arianti
NIM. 157150100011006

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 15 Juli 2019
dan dinyatakan memenuhi syarat

Tim Promotor

Prof. Dr. Ir. Soemarno., MS
Promotor

Dr. Ir. A. Wahid Hasyim, M.SP
Ko-Promotor 1

Dr. Ir. Rudy Sulistyono, MS
Ko-Promotor 2

Malang,

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Direktur

Prof. Dr. Marjono, M.Phil
NIP. 196211161988031004

IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

Judul Disertasi : *Pemodelan Tingkat Kerawanan Banjir Kota Pontianak Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Sebagai Basis Data Untuk Menetapkan Wilayah Pengembangan Kota yang Aman Dari Banjir*

Nama : lin Arianti

NIM : 157150100011006

Program Studi : Doktor Ilmu Lingkungan

Komisi Promotor

Promotor : Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS

Ko-Promotor 1 : Dr. Ir. Abdul Wahid Hasyim, M.SP

Ko-Promotor 2 : Dr. Ir. Rudy Sulistyono, MS

Tim Penguji

: Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU

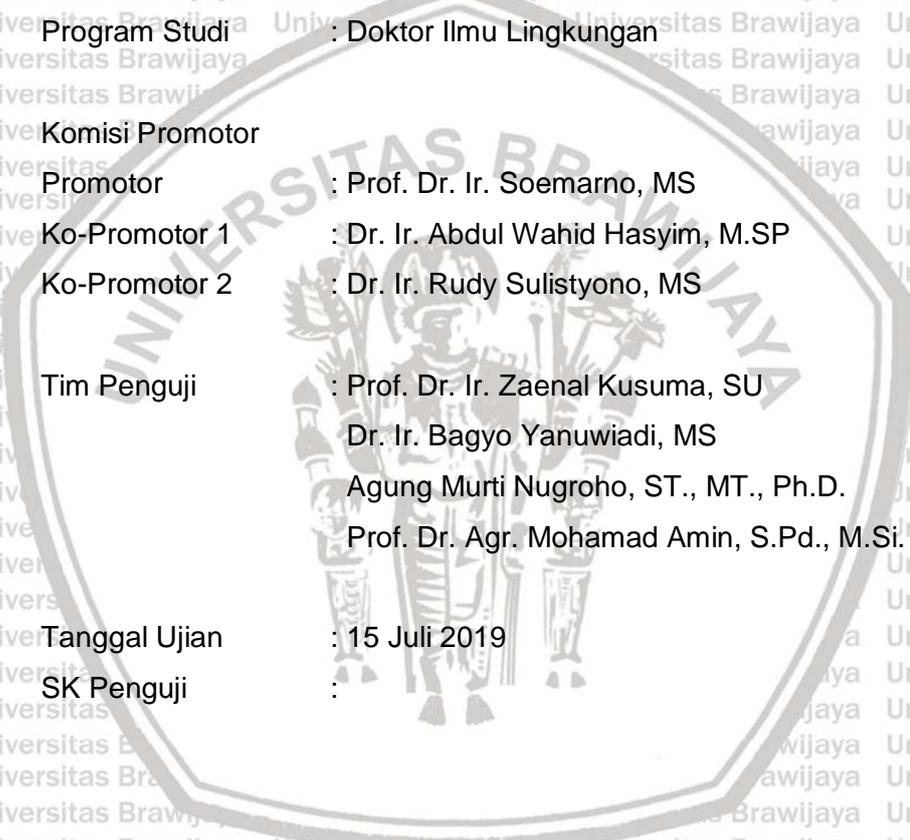
Dr. Ir. Bagyo Yanuwadi, MS

Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.

Prof. Dr. Agr. Mohamad Amin, S.Pd., M.Si.

Tanggal Ujian : 15 Juli 2019

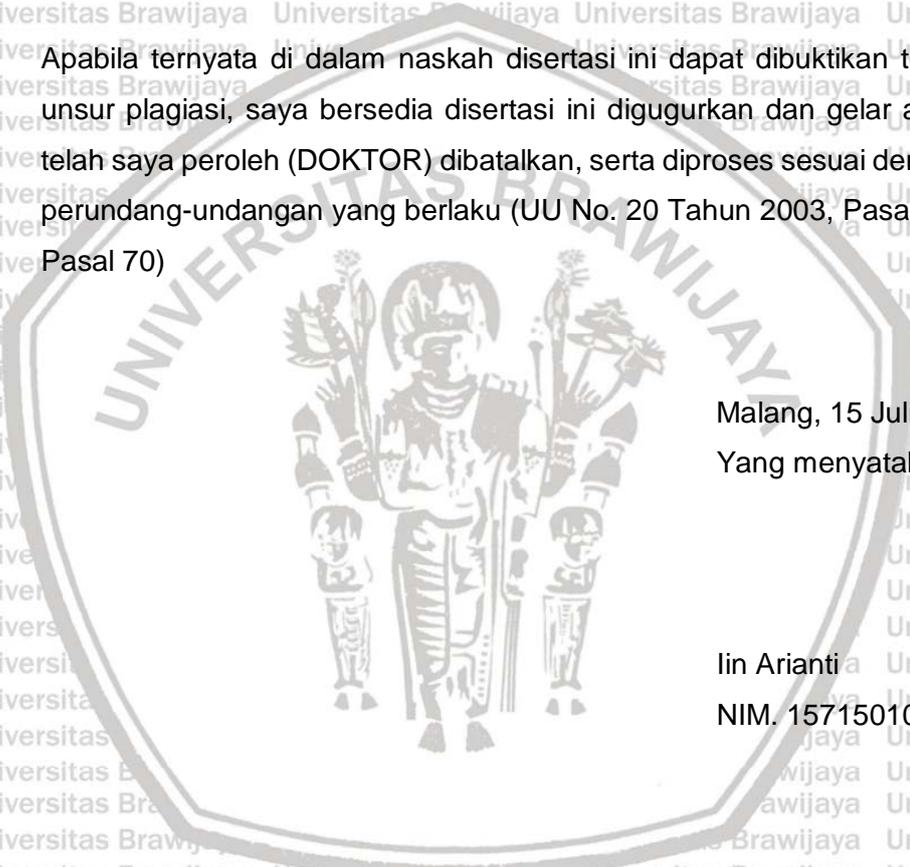
SK Penguji :



PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia disertasi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (DOKTOR) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70)



Malang, 15 Juli 2019
Yang menyatakan,

lin Arianti
NIM. 157150100011006

MOTTO

BERSEMANGATLAH UNTUK MERAIH APA
YANG BERMANFAAT BAGIMU.
MINTALAH PERTOLONGAN PADA ALLAH.
DAN JANGAN BERSIKAP LEMAH.



HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk suami dan tiga anak tersayang



RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

1	Nama Lengkap	: lin Arianti
2	Tempat, Tanggal Lahir	: Mempawah, 05 Januari 1970
3	Jenis Kelamin	: Perempuan
4	Agama	: Islam
5	Instansi Asal	: Politeknik Negeri Pontianak
6	Alamat Instansi	: Jl. Jend. A. Yani Pontianak
7	No. Telp/Fax Instansi	: 0561-736180
8	Alamat Rumah	: Jl. Danau Sentarum Komp. Zal Khatulistiwa A8 Pontianak
9	No. Telp/HP Rumah	: +62856 50 25 100
10	Email	: lin_arianti@yahoo.com

PENDIDIKAN

NO.	TINGKAT	PENDIDIKAN	JURUSAN	TAHUN	TEMPAT
1	SD	MINT Bawamai	-	1982	Pontianak
2	SMP	SMPN 1	-	1985	Pontianak
3	SMA	SMAN 1	Biologi	1988	Pontianak
4	S-1	ITN	Tek. Sipil	1995	Malang
5	S-2	IPB	Peng. DAS	2006	Bogor

PENGALAMAN PEKERJAAN

NO.	RINCIAN	TAHUN
1	Dosen Politeknik Negeri Pontianak	1997 – sekarang

PENGALAMAN SEMINAR/LOKAKARYA/PELATIHAN

NO.	RINCIAN	TAHUN
1	Seminar Kurikulum Jurusan Tek. Sipil untuk Prog. Studi Bangunan Gedung, Bangunan Air & Bangunan Transportasi	1998
2	<i>Searching National Identity in Design</i>	1999
3	Konferensi Kendali Indonesia	1999
4	Semiloka Pendidikan Tingkat Tinggi Nasional	1999
5	<i>Training EEDP Stage I – Project</i>	2000

6	Sistem Pengelolaan dan Pemanfaatan DAS	2000
7	Penataran Calon Penulis Buku Ajar Perguruan Tinggi	2001
8	Pemutakhiran Kurikulum, Pembuatan Buku Ajar, SAP & GBPP	2001
9	Pembuatan Bahan Ajar dengan <i>Authorware</i>	2001
10	Pembuatan Buku Ajar, SAP dan GBBP	2002
11	Semiloka Mewujudkan Sistem Informasi Daerah Untuk Menunjang Transparansi Publik	2002
12	Manajemen Proyek	2002
13	TOT Kepoliteknikan dan Pelatihan Bimbingan dan Konseling	2008
14	<i>Workshop</i> Bedah Silabus dan Kurikulum Diploma IV Prodi Teknik Perencanaan Perumahan dan Permukiman	2008
15	<i>Student Support Services & Planning Development</i>	2008
16	Membangun Karakter Bangsa Melalui Profesionalisme Guru Berbasis Nilai	2009
17	Seminar Membangun Karakter Bangsa Melalui Profesionalisme Guru berbasis Nilai	2009
18	Seminar Rahasia Sukses Menggapai Fulbright (AMINEF)	2010
19	<i>Workshop</i> SOP Jurusan Tek, Sipil	2012
20	<i>Workshop</i> Jurnal Ilmiah Terakreditasi	2013
21	Pelatihan Program Kreativitas Mahasiswa & PKM	2014
22	PMU <i>Innovation Competition & Exhibition Polytechnic</i> Mukah Malaysia	2014
23	<i>Workshop</i> Geospasial BIG	2015

KETERANGAN KELUARGA

1. Orang Tua

NO.	NAMA	TEMPAT LAHIR	TANGGAL LAHIR	PEKERJAAN
1	H.A. Usman	Sanggau	21 April 1946	Pensiunan
2	Hj. Djumiati	Ngawi	14 Agustus 1952	IRT

2. Suami

NO.	NAMA	TEMPAT LAHIR	TANGGAL LAHIR	PEKERJAAN
1	H. M. Rafani	Pontianak	17 November 1966	PNS

3. Anak

NO.	NAMA	TEMPAT LAHIR	TANGGAL LAHIR	PEKERJAAN
1	Dzannun F. Austi	Pontianak	18 Agustus 1999	Pelajar
2	Zhilaluha Austi	Pontianak	28 Oktober 2001	Pelajar
3	Zadu T. Austi	Pontianak	31 Juli 2003	Pelajar



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga disertasi dengan judul ***Pemodelan Tingkat Kerawanan Banjir Kota Pontianak Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Sebagai Basis Data Untuk Menetapkan Wilayah Pengembangan Kota yang Aman Dari Banjir ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar.***

Penelitian dan penulisan disertasi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian dari persyaratan guna memperoleh gelar Doktor, pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya dan merupakan kesempatan berharga sekali untuk menerapkan beberapa teori yang diperoleh selama menempuh pendidikan dalam situasi dunia nyata. Tanpa kesempatan, bimbingan, masukan serta dukungan semangat dari berbagai pihak, tentunya disertasi ini tidak akan terwujud sebagaimana bentuknya saat ini.

Sehubungan dengan selesainya penulisan disertasi ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, baik moril maupun materiil, yaitu:

- (1) Prof. Dr. Ir. Nuhfil Hanani, MS., selaku Rektor Universitas Brawijaya;
- (2) Prof. Dr. Marjono, M.Phil., selaku Direktur Program Pascasarjana Multidisipliner Universitas Brawijaya;
- (3) Dr. Ir. Gatot Ciptadi, DESS. IPU., selaku Koordinator Program Doktor Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Brawijaya;
- (4) Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS., selaku Promotor yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk perbaikan disertasi ini;
- (5) Dr. Ir. Abdul Wahid Hasyim, M.SP., selaku Ko-Promotor 1 yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk perbaikan disertasi ini;
- (6) Dr. Ir. Rudy Sulistyono, MS., selaku Ko-Promotor 2 yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk perbaikan disertasi ini;
- (7) Para Tim Penguji disertasi: Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU; Dr. Ir. Bagyo Yuwono, MS; Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.; Prof. Dr. Agr. Mohamad Amin, S.Pd., M.Si.
- (8) Para dosen pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya;
- (9) Para pegawai dan staf administrasi pada PDIL Universitas Brawijaya;
- (10) Rekan-rekan mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya.

Kepada pihak-pihak lainnya yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu, juga penulis sampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang tidak terhingga; karena dengan bantuan bapak dan ibu semuanya maka disertasi ini dapat diselesaikan penulisannya dengan baik.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya kepada kita semua dalam melaksanakan pengabdian bagi kejayaan negara dan bangsa Indonesia yang kita cintai. Aamiin.

Malang, 15 Juli 2019

Penulis,

Lin Arianti

NIM. 157150100011006

RINGKASAN

IIN ARIANTI, 157150100011006, Program Doktor Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang, tanggal 15, bulan Juli, tahun 2019, "Pemodelan Tingkat Kerawanan Kota Pontianak Berbasis SIG Sebagai Basis Data Menetapkan Wilayah Pengembangan Kota Yang Aman Dari Banjir", Komisi Pembimbing, Promotor SOEMARNO, ABDUL WAHID HASYIM dan RUDY SULISTYONO.

Indonesia merupakan negara yang sering mengalami bencana. Dikatakan sering, karena telah terjadi 1.853 kejadian bencana di tahun 2016. Hal ini lebih banyak dari pada tahun sebelumnya seperti pada tahun 2012 ada 1.811 bencana, tahun 2013 ada 1.674 dan tahun 2015 terjadi 1.732 bencana. Menurut data yang dihimpun oleh Pusat Data Informasi dan Humas Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tercatat ada kejadian bencana sebanyak 654 pada awal tahun 2017. Berdasarkan data tersebutlah maka perlu adanya data dasar pada setiap wilayah di Indonesia yang dapat menunjukkan secara spasial daerah rawan banjir sehingga dapat dicari solusi untuk meminimalkan dampak banjir sebagai mitigasi bencana banjir. Solusi yang tepat dan upaya yang serius dalam penanganan masalah banjir tentunya akan meningkatkan rasa aman pada masyarakat baik yang berada di wilayah banjir ataupun yang berpotensi dan terdampak banjir. Solusi yang telah diambil selama ini lebih difokuskan pada teknis pengendalian pasca banjir, sehingga tidak efektif untuk usaha pencegahan. Upaya pencegahan dapat dilakukan melalui pemantauan wilayah rawan secara kontinyu. Salah satu upaya untuk memudahkan pemantauan banjir pada suatu daerah adalah melalui penyediaan informasi tingkat rawan banjir. Informasi tingkat dan kelas rawan banjir dapat diwujudkan dengan pembuatan peta kerawanan banjir. Kota Pontianak merupakan ibukota Propinsi Kalimantan Barat, dengan luas 107,82 km², terletak pada 0^o 02' 24" Lintang Utara sampai dengan 0^o 05' 37" Lintang Selatan, dan 109^o 16' 25" Bujur Timur sampai dengan 109^o 23' 01" Bujur Timur. Kota Pontianak terletak di dataran rendah dengan ketinggian berkisar antara 0,10 meter sampai 1,50 meter di atas permukaan laut (mdpl). Kota Pontianak merupakan daerah tropis dengan suhu berkisar antara 22,4 °C – 36,4 °C, dengan kelembaban cukup tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat model kerawanan banjir di Kota Pontianak, Kalimantan Barat berbasis SIG. Model dibentuk berdasarkan skor dan bobot dari variabel faktor biofisik menggunakan metode AHP (*Analysis Hierarchy Process*) dan formulasi logis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) model yang menggunakan AHP yaitu Model 2 dan Model 3 untuk menentukan tingkat kerawanan banjir di Kota Pontianak hanya sebesar 80%. Berdasarkan hasil perhitungan akurasi Kappa ternyata model 2 dan 3 memiliki nilai akurasi Kappa yang sama yaitu 71,3%. Hal ini berarti model tersebut tidak cukup sesuai untuk merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Model tingkat kerawanan banjir model 1 merupakan model terbaik karena model 1 memiliki nilai akurasi keseluruhan sebesar 84%, hal ini berarti hasil peta model 1 memiliki tingkat kepercayaan 84% setelah dilakukan pengecekan lokasi titik genangan pada peta terhadap titik genangan di lapangan. Adapun nilai akurasi Kappa pada model 1 yaitu 79,3%, hal ini berarti mampu menghindari 79,3% kesalahan.

Model tingkat kerawanan banjir ini (model 1) menerangkan bahwa sebagian besar wilayah Kota Pontianak memiliki tingkat kerawanan banjir yang sangat tinggi yaitu seluas 31.440.568,8 m² atau 29,11% dari total luas wilayah penelitian sebesar 108.003.319,8 m². Adapun daerah rawan sebesar 29.945.485,7 m² atau 27,73% dan daerah kurang aman sebesar 22.126.936,3 m² atau 20,49% serta daerah aman sebesar 24.490.328,7 m² atau 22,67% dari total luas wilayah penelitian.

Kecamatan yang paling luas daerahnya masuk ke dalam daerah sangat rawan banjir secara berurutan adalah Kecamatan Pontianak Kota seluas 8.299.516,9 m²; kemudian diikuti Kecamatan Pontianak Selatan seluas 6.980.141,8 m²; Kecamatan Pontianak Barat seluas 5.638.021,4 m²; Kecamatan Pontianak Utara seluas 4.095.410,0 m²; Kecamatan Pontianak Tenggara seluas 3.830.011,8 m²; dan Kecamatan Pontianak Timur seluas 2.597.441,2 m².

Kata kunci: pemodelan, kerawanan, banjir, SIG, AHP, validasi, akurasi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



SUMMARY

IIN ARIANTI, 157150100011006, Doctoral Program of Environmental Science, Brawijaya University Malang, Day 15th Month July Year 2019, "Modeling The Vulnerability Level of Pontianak City Based on GIS as A Database Establishes Safe Urban Development Areas from Floods." Under the direction of SOEMARNO, ABDUL WAHID HASYIM and RUDY SULISTYONO

Indonesia is a country that often experiences disasters. It is said often, because there have been 1,853 disasters in 2016. This is more than in the previous year as in 2012 there were 1,811 disasters, in 2013 there were 1,674 and in 2015 there were 1,732 disasters. According to data compiled by the Information and Public Relations Data Center of the National Disaster Management Agency (BNPB), there were recorded 654 disaster events at the beginning of 2017. Based on these data it is necessary to have basic data in each region in Indonesia that can spatially show flood-prone areas so that solutions can be found to minimize the impact of flooding as flood disaster mitigation. The right solution and serious efforts in handling flood problems will certainly increase the sense of security in the community both in flooded areas and those that have the potential and are affected by floods. The solutions that have been taken so far are more focused on post-flood control techniques, so they are not effective for prevention efforts. Prevention efforts can be carried out through continuous monitoring of vulnerable areas. One effort to facilitate monitoring of flooding in an area is through the provision of information on flood-prone levels. Information on the level and class of flood-prone areas can be realized by making flood hazard maps. Pontianak City is the capital of West Kalimantan Province, with an area of 107.82 km², located at 0° 02' 24" North Latitude up to 0° 05' 37" South Latitude, and 109° 16' 25" East Longitude up to 109° 23' 01" East Longitude. The city of Pontianak is located in the lowlands with a height ranging from 0.10 meters to 1.50 meters above sea level (masl). The city of Pontianak is a tropical region with temperatures ranging from 22.4 °C - 36.4 °C, with high humidity.

This research was conducted to establish a vulnerability model of flood hazard in the city of Pontianak, West Kalimantan Province based on GIS. The model was based on scoring and weighting of biophysical factors. The AHP (analysis Hierarchy Process) method and logical formulations were used to establish the model.

The result showed that the accuracy of model by AHP to determine the vulnerability of flood was only 80% in Pontianak City. Therefore the model was not good enough to represent actual condition in the field. The accuracy of model using logical formulations to determine the vulnerability level of flood was 84%, this means that the results of model 1 have a confidence level of 84% after checking the location of inundation points on the map against inundation points in the field. The Kappa accuracy value in model 1 is 79.3%, this means it is able to avoid 79.3% errors.

The model of flood vulnerability (model 1) explains that most of Pontianak City has a very high level of flood vulnerability, which is 31,440,568.8 m² or 29.11% of the total research area of 108,003,319.8 m². The vulnerable area is 29,945,485.7 m² or 27.73% and the less secure area is 22,126,936.3 m² or 20.49% and the safe area is 24,490,328.7 m² or 22.67% of the total area.

Subdistricts that have the most area in a very flood prone area in a row are City Pontianak Sub-District covering 8,299,516.9 m²; then followed by South Pontianak Subdistrict covering an area of 6,980,141.8 m²; West Pontianak Subdistrict covering an area of 5,638,021.4 m²; North Pontianak District covering an area of 4,095,410.0 m²; Southeast Pontianak Subdistrict covering 3,830,011.8 m²; and the District of East Pontianak covering 2,597,441.2 m².

Key words: modeling, vulnerability, flood, GIS, AHP, validation, accuracy.



KATA PENGANTAR

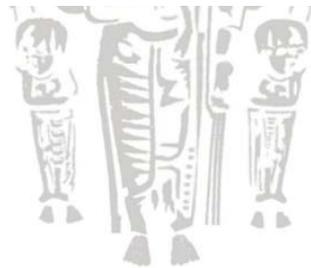
Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan naskah disertasi ini dengan judul *Pemodelan Tingkat Kerawanan Banjir Kota Pontianak Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Sebagai Basis Data untuk Menetapkan Wilayah Pengembangan Kota yang Aman dari Banjir*.

Makalah disertasi ini dibuat oleh penulis sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Doktor Ilmu Lingkungan (PDIL) pada Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa makalah disertasi ini masih terdapat kekurangan oleh sebab itu diperlukan banyak masukan dan saran agar makalah disertasi ini menjadi lebih baik, tepat guna, dan tepat sasaran. Penulis juga mengharapkan petunjuk dan bimbingan guna perbaikan penulisan saat sekarang dan di masa yang akan datang sehingga makalah disertasi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2019

Penulis

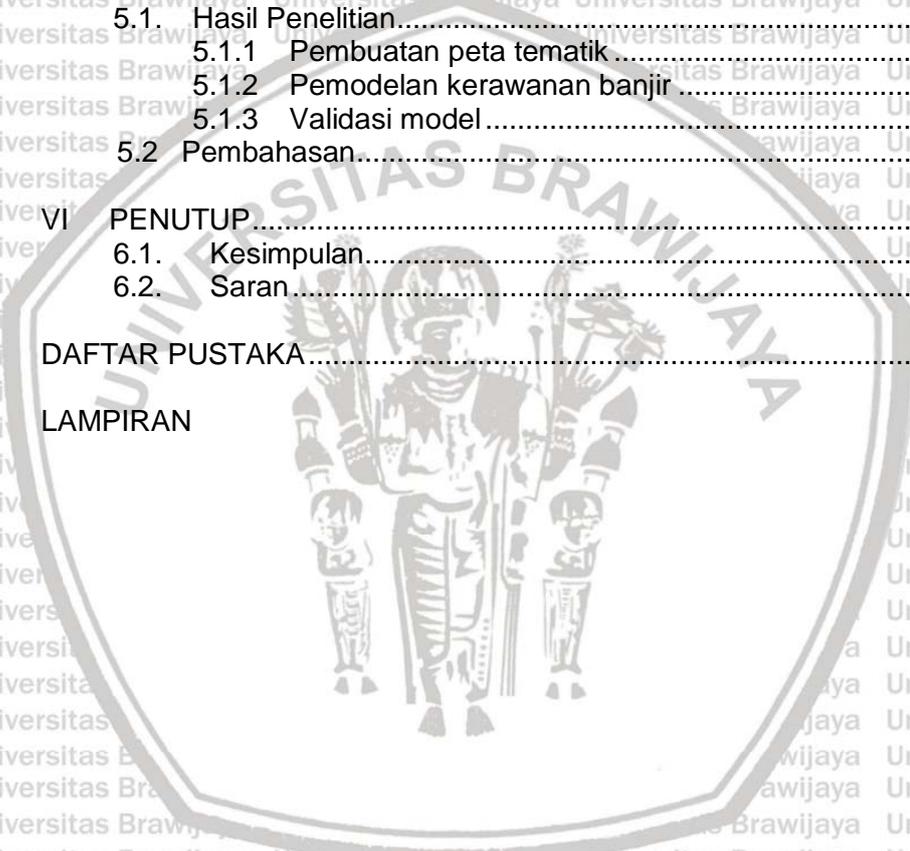


DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	x
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH	xxiv
BAB	
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1. Banjir, Kerawanan, Risiko dan Bahayanya	6
2.2. Wilayah Rawan Banjir	13
2.2.1 Banjir	15
2.2.2 Penyebab banjir	18
2.3. Model dan Pemodelan	28
2.3.1 Analytical Hierarchy Process (AHP)	30
2.3.2 Sistem Informasi Geografis (SIG)	38
2.3.3 Peta	44
2.3.4 Aplikasi SIG untuk pemodelan tingkat kerawanan banjir	46
2.3.5 Validasi model	60
2.4. Kerangka Konsep Penelitian	62
III METODE PENELITIAN	65
3.1. Jenis Penelitian	65
3.2. Konsep dan Variabel Penelitian	65
3.3. Teknik Pengumpulan Data dan Langkah-langkah Kegiatan	67
3.4. Penyusunan Model	68
3.5. Verifikasi Lapangan	70
3.6. Validasi Model	70
3.7. Hasil	70
3.8. Lokasi dan Waktu Penelitian	71



IV	DISKRIPSI LOKASI PENELITIAN	72
4.1.	Gambaran Umum Kota Pontianak	72
4.2.	Luas dan Batas Wilayah	73
4.3.	Geologi	74
4.4.	Hidrologi	75
4.5.	Klimatologi	76
4.6.	Kependudukan	76
4.7.	Sosial Ekonomi	76
4.8.	Penggunaan Lahan	78
V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	81
5.1.	Hasil Penelitian	81
5.1.1	Pembuatan peta tematik	81
5.1.2	Pemodelan kerawanan banjir	97
5.1.3	Validasi model	114
5.2	Pembahasan	125
VI	PENUTUP	144
6.1.	Kesimpulan	144
6.2.	Saran	145
	DAFTAR PUSTAKA	xxvi
	LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul Tabel	Hal.
2.1	Klasifikasi curah hujan tahunan.....	21
2.2	Kelas kemiringan lereng.....	27
2.3	Kelas kemiringan lereng.....	27
2.4	Penilaian perbandingan berpasangan AHP.....	33
2.5	Kuisisioner matriks.....	33
2.6	Penyusunan matriks berpasangan.....	34
2.7	Nilai <i>ratio index</i>	35
2.8	Matrik berpasangan.....	35
2.9	Bobot relatif ternormalisasi.....	35
2.10	Eigen vektor utama.....	36
2.11	<i>Pairwise comparison</i> bentuk fraksi.....	37
2.12	<i>Pairwise comparison</i> bentuk desimal.....	37
3.1	Konsep, variabel dan indikator penelitian.....	67
4.1	Luas wilayah Kota Pontianak.....	73
4.2	Sungai/parit di Kota Pontianak.....	75
4.3	Kepadatan penduduk Kota Pontianak.....	76
4.4	PDRB Kota Pontianak.....	77
4.5	Luas lahan menurut penggunaan.....	78
4.6	Luas lahan menurut jenis penggunaan.....	79
4.7	Luas lahan sawah dan lahan kering.....	80
5.1	Kelas dan skor curah hujan.....	97
5.2	Kelas dan skor tutupan lahan.....	98
5.3	Kelas dan skor jenis tanah.....	98
5.4	Kelas dan skor kemiringan lereng.....	98
5.5	Kelas dan skor penggunaan lahan.....	98
5.6	Pembobotan variabel indikator banjir cara ranking.....	100
5.7	<i>Pairwise comparison matrix</i> pakar 1.....	101
5.8	<i>Pairwise comparison matrix</i> pakar 2.....	101
5.9	<i>Reciprocal matrix</i> pakar 1.....	102
5.10	<i>Reciprocal matrix</i> pakar 2.....	102



5.11	<i>Normalized weight matrix</i> pakar 1	102
5.12	<i>Normalized weight matrix</i> pakar 2	103
5.13	Luas kerawanan banjir model 1	108
5.14	Luas kerawanan banjir model 2	109
5.15	Luas kerawanan banjir model 3	111
5.16	Data hasil pengecekan lapangan	116
5.17	Matrik <i>error</i> model 1	121
5.18	Matrik <i>error</i> model 2	122
5.19	Matrik <i>error</i> model 3	123
5.20	Luas tingkat kerawanan banjir per kecamatan Kota Pontianak	126



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul Gambar	Hal.
2.1	Diagram alir metode interpolasi IDW	23
2.2	Diagram alir metode interpolasi kriging.....	25
2.3	Operasi <i>overlay intersect</i>	42
2.4	Operasi <i>clip</i>	42
2.5	Operasi <i>overlay identity</i>	43
2.6	Operasi <i>overlay union</i>	43
2.7	Tahapan pembuatan pemodelan kerawanan banjir	51
2.8	Kerangka konsep penelitian	63
4.1	Peta lokasi penelitian.....	73
5.1	Hasil proses pengkelasan poligon Thiessen.....	83
5.2	Hasil interpolasi IDW	85
5.3	Peta curah hujan Kota Pontianak metode IDW	86
5.4	Peta curah hujan Kota Pontianak metode Poligon Kriging.....	87
5.5	Hasil peta curah hujan Kota Pontianak metode poligon Kriging	87
5.6	Curah hujan Kota Pontianak metode Poligon <i>Spline</i>	88
5.7	Hasil peta curah hujan Kota Pontianak metode <i>Spline</i>	88
5.8	Peta kemiringan lereng Kota Pontianak.....	91
5.9	Tampilan peta kemiringan lereng Kota Pontianak dengan <i>layer</i> DEM Alos Palsar yang ditransparansi.....	92
5.10	Peta jenis tanah Kota Pontianak	93
5.11	Peta penggunaan lahan (<i>landuse</i>) Kota Pontianak.....	94
5.12	Peta tutupan lahan (<i>landcover</i>) Kota Pontianak	96
5.13	Peta pemodelan kerawanan banjir 1.....	105
5.14	Peta pemodelan kerawanan banjir 2.....	106
5.15	Peta pemodelan kerawanan banjir 3.....	107
5.16	Tingkat sangat rawan luas area kerawanan banjir model 1	108
5.17	Tingkat rawan luas area kerawanan banjir model 1	108
5.18	Tingkat kurang aman luas area kerawanan banjir model 1	109
5.19	Tingkat aman luas area kerawanan banjir model 1	109
5.20	Tingkat aman luas area kerawanan banjir model 2.....	110

5.21 Tingkat kurang aman luas area kerawanan banjir model 2 110

5.22 Tingkat rawan luas area kerawanan banjir model 2 111

5.23 Tingkat sangat rawan luas area kerawanan banjir model 2 111

5.24 Luas Total area kerawanan banjir model 3 112

5.25 Tingkat aman luas area kerawanan banjir model 3 112

5.26 Tingkat kurang aman luas area kerawanan banjir model 3 113

5.27 Tingkat rawan luas area kerawanan banjir model 3 113

5.28 Tingkat sangat rawan luas area kerawanan banjir model 3 114

5.29 Peta titik validasi model kerawanan banjir Kota Pontianak 115

5.30 Peta titik validasi rawan banjir Model 1 123

5.31 Peta titik validasi rawan banjir Model 2 124

5.32 Peta titik validasi rawan banjir Model 3 124



DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

3D	: 3 (tiga) dimensi
AHP	: <i>Analytical Hierarchy Process</i>
ALOS	: <i>Advance Land Observing Sattelite</i>
Bakosurtanal	: Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional
BMKG	: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
BNPBB	: Badan Nasional Penanggulangan Bencana
BPS	: Badan Pusat Statistik
CH	: Curah hujan
CI	: <i>Consistency Index</i>
CR	: <i>Consistency Ratio</i>
DAS	: Daerah Aliran Sungai
DBMS	: <i>Data Base Management System</i>
DEM	: <i>Digital Elevation Model</i>
ESRI	: <i>Environmental Systems Research Institute</i>
GCS	: <i>Geographic Coordinat System</i>
GIS	: <i>Geographic Information System</i>
GM	: <i>Geometric Mean</i>
ha	: hektar
HEC-HMS	: <i>Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System</i>
HEC-RAS	: <i>Hydrologic Engineering Center-River Analysis System</i>
ICA	: <i>International Cartographic Association</i>
IDW	: <i>Inverse Distance Weighted</i>
IFAM	: <i>Integrated Flood Assessment Model</i>
IPCC	: <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISODATA	: <i>Iterative Self Organizing Data Analysis Technique</i>
JT	: Jenis tanah
KBBI	: Kamus Besar Bahasa Indonesia
KL	: Kemiringan lereng
Lc	: <i>Landcover</i>
Lu	: <i>Landuse</i>
mdpl	: meter di atas permukaan laut
OA	: <i>Overall Accuracy</i>

OLI	: <i>Operational Land Imager</i>
PA	: <i>Producer Accuracy</i>
PALSAR	: <i>Phased Array type L-band Syntetic Aperture Radar</i>
PCC	: <i>Proportion Correctly Classified</i>
PDRB	: <i>Produk Domestik Regional Bruto</i>
RAM	: <i>Random Access Memory</i>
Remote Sensing	: <i>Penginderaan jauh</i>
RGB	: <i>Red Green Blue</i>
RI	: <i>Ratio Index</i>
RTH	: <i>Ruang Terbuka Hijau</i>
RTRW	: <i>Rencana Tata Ruang Wilayah</i>
SIG	: <i>Sistem Informasi Geografis</i>
Slope	: <i>kemiringan lereng</i>
SNI	: <i>Standar Nasional Indonesia</i>
SPOT	: <i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SRTM	: <i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	: <i>Triangulated Irregular Network</i>
TRMM	: <i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
UA	: <i>User Accuracy</i>
UN	: <i>United Nations</i>
UNDP	: <i>United Nations Development Programme</i>
UNISDR	: <i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>
UTM	: <i>Universal Transverse Mercator</i>
UU	: <i>Undang-Undang</i>
WGS	: <i>World Geodetic System</i>



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Pontianak adalah sebuah kota yang unik karena dilalui oleh garis equator atau garis khatulistiwa, garis yang membelah bumi menjadi dua bagian, yaitu bagian utara dan bagian selatan. Selain dilintasi oleh garis equator, Kota Pontianak juga dibelah oleh bagian hilir Sungai Kapuas dan Sungai Landak, dan Kota Pontianak terbentuk dari sedimen-sedimen yang dibawa oleh aliran dari hulu Sungai Kapuas dan Sungai Landak. Sedimen aluvium terdiri dari sedimen klastik dan aluvium hasil sedimen teresterial aluvium, sedimen litoral terdiri dari sedimen klastik dan *fine* hasil dari sedimen litoral dan *estuary*. Jenis batuan aluvial merupakan bagian terbesar wilayah Kota Pontianak, hanya sebagian wilayah Pontianak Utara merupakan jenis batuan litoral.

Kota Pontianak merupakan ibukota Propinsi Kalimantan Barat, dengan luas 107,82 km², terletak pada 0° 02' 24" Lintang Utara sampai dengan 0° 05' 37" Lintang Selatan, dan 109° 16' 25" Bujur Timur sampai dengan 109° 23' 01" Bujur Timur. Kota Pontianak terletak pada sebuah dataran rendah dengan rerata ketinggian berkisar dari 0,10 meter sampai 1,50 meter di atas permukaan laut/mdpl. Kota Pontianak merupakan daerah tropis dengan suhu berkisar antara 22,4 °C – 36,4 °C, dengan kelembaban cukup tinggi.

Kejadian banjir sebenarnya tidak dikenal oleh masyarakat Kota Pontianak, karena dari dahulu rumah-rumah masyarakat semuanya merupakan rumah panggung yang lantai rumahnya didirikan setinggi ± 1,50 di atas muka tanah,

karena setiap musim penghujan yaitu bulan pada September sampai bulan Februari, muka air akan naik tinggi menggenangi tanah dataran melewati parit-parit dan sungai karena curah hujan yang terjadi juga tinggi. Kejadian naiknya permukaan air menggenangi daerah dataran ini biasa disebut oleh orang Pontianak dengan "ACAP" bukan banjir.

Pada masa kolonial Belanda, dibuatlah kanal-kanal saluran air yang disebut oleh orang Pontianak dengan sebutan parit untuk mengendalikan peristiwa naiknya permukaan air pada saat musim penghujan. Parit-parit yang ada di Kota Pontianak sangat lebar dan dalam yang berfungsi untuk sarana transportasi masyarakat menggunakan sampan untuk membawa hasil kebun dan sawahnya untuk dijual, serta berfungsi juga untuk mempercepat turunnya genangan air ke arah sungai, agar genangan air tidak terlalu lama mengganggu aktivitas masyarakat. Tetapi dengan perkembangan kota yang cepat tanpa memperhatikan kearifan lokal, parit-parit yang tadinya berukuran lebar dan dalam diperkecil dan sebagian di dekat sungai malahan banyak yang ditutup untuk pembangunan jalan dan pertokoan.

Solusi yang tepat dan upaya yang serius dalam penanganan masalah banjir tentunya akan meningkatkan rasa aman pada masyarakat baik yang berada di wilayah banjir ataupun yang berpotensi dan terdampak banjir. Solusi yang telah diambil selama ini lebih difokuskan pada teknis pengendalian pasca banjir, sehingga tidak efektif untuk usaha pencegahan. Upaya pencegahan dapat dilakukan melalui pemantauan wilayah rawan secara kontinyu. Salah satu upaya untuk memudahkan pemantauan banjir pada suatu daerah adalah melalui penyediaan informasi tingkat rawan banjir. Informasi tingkat dan kelas rawan banjir dapat diwujudkan dengan pembuatan peta kerawanan banjir. Peta ini

merupakan peta berwarna, setiap warna melambangkan penilaian secara kualitatif yang ditentukan berdasarkan beberapa kelas, yaitu aman, kurang aman, rawan dan sangat rawan. Tersedianya informasi tentang tingkat kerawanan banjir secara spasial akan memberikan informasi penting sebagai mitigasi bencana banjir, melalui informasi ini maka wilayah yang memiliki kelas rawan dan sangat rawan harus diprioritaskan untuk diberi rekomendasi kepada pihak terkait.

Pemetaan tingkat kerawanan banjir dapat dibangun menggunakan teknologi SIG serta penginderaan jauh. Teknologi SIG ini mampu menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan spasial secara cepat dan konsisten, sedangkan penginderaan jauh mampu memberikan data yang *up-to-date*, handal dan akurat.

Banyak ahli yang sudah memanfaatkan teknologi SIG untuk memetakan data spasial bencana, seperti bencana kebakaran hutan dan lahan, tanah longsor dan banyak lagi yang lainnya. Analisis spasial pada SIG juga dapat digunakan untuk proses pembuatan pemodelan, pengujian model dan interpretasi hasil model. SIG merupakan alat yang cocok untuk memetakan data spasial dari bahaya bencana alam. SIG bisa juga memadukan secara spasial beberapa variabel penyebab bencana alam. Analisis spasial sangat bermanfaat untuk prediksi suatu kejadian yang dapat membantu pengambilan keputusan melalui proses simulasi data geografis.

Banyak penelitian yang terdahulu mengenai banjir, mulai dari identifikasi distribusi banjir, banjir akibat degradasi serta deforestasi. Banjir merupakan bencana yang diakibatkan oleh banyak faktor sesuai dengan keadaan biofisik lahan dan faktor sosial serta ekonomi daerah lokasi studi penelitian, maka pada penelitian ini menitik beratkan pada lokasi Kota Pontianak yang memiliki banyak

sungai baik yang besar maupun kecil (parit) dan seringnya terjadi banjir di lokasi ini, maka perlu dilakukan penelitian untuk mitigasi bencana banjir.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang akan dikaji secara mendalam pada penelitian ini adalah bagaimana tingkat pengaruh variabel penyebab banjir? Bagaimana membuat pemodelan spasial tingkat kerawan banjir dengan teknologi SIG? Dalam penelitian ini, daerah atau lokasi studi penelitian adalah identifikasi daerah rawan banjir di Kota Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat, berdasarkan faktor fisik lahan.

Data yang akan digunakan pada penelitian berupa data spasial. Pada penelitian ini harus dapat menjawab beberapa buah permasalahan yaitu: Apa saja variabel-variabel penyebab banjir dan bagaimana tingkat pengaruh masing-masing variabel tersebut? Bagaimana membuat pemodelan tingkat kerawanan banjir dengan teknologi SIG? Bagaimana tingkat keakuratan model tingkat kerawanan banjir? Bagaimana memilih model tingkat kerawanan banjir yang terbaik? Berapa luasan kawasan pada setiap tingkat kerawanan banjir?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian adalah memberikan beberapa rekomendasi tentang daerah rawan banjir Kota Pontianak untuk pengembangan wilayah Kota Pontianak yang aman dari bencana banjir. Tujuan khusus yang ingin dicapai adalah:

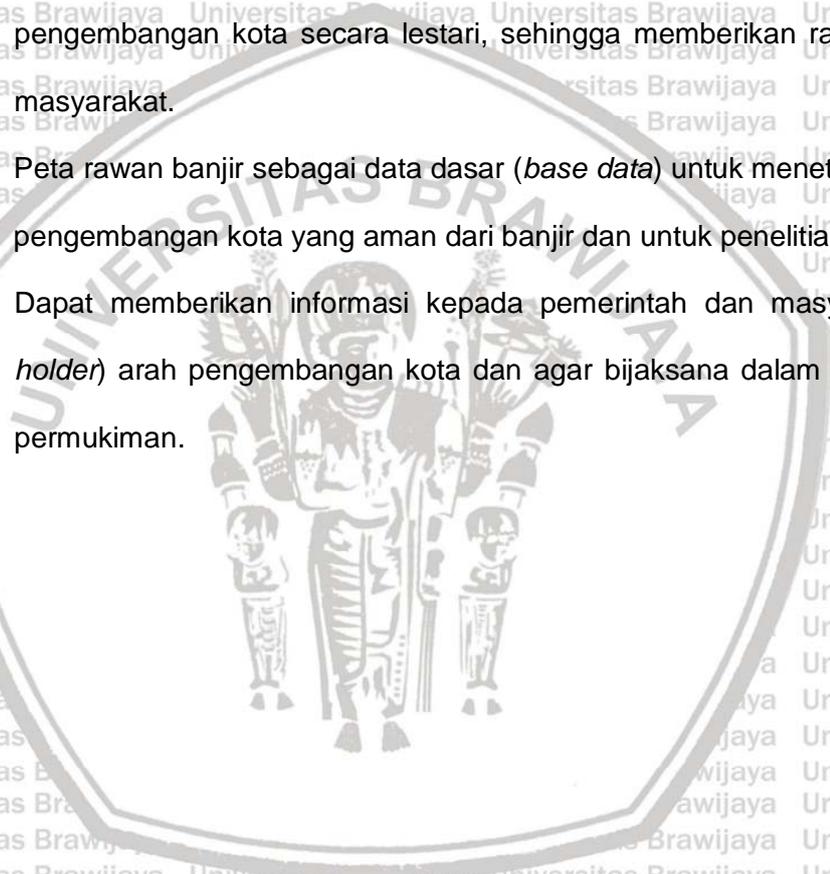
1. Mengidentifikasi dan menentukan variabel fisik lahan penyebab banjir di Kota Pontianak.
2. Membuat model tingkat kerawanan banjir pada area studi.

3. Menentukan tingkat akurasi dan model tingkat kerawanan banjir terbaik.
4. Memperoleh luasan kawasan tingkat kerawanan banjir Kota Pontianak.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Memberikan informasi kepada pemerintah terkait dalam pembangunan dan pengembangan kota secara lestari, sehingga memberikan rasa aman bagi masyarakat.
- b. Peta rawan banjir sebagai data dasar (*base data*) untuk menetapkan wilayah pengembangan kota yang aman dari banjir dan untuk penelitian lebih lanjut.
- c. Dapat memberikan informasi kepada pemerintah dan masyarakat (*stake holder*) arah pengembangan kota dan agar bijaksana dalam memilih lokasi permukiman.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Banjir, Kerawanan, Risiko dan Bahayanya

Salah satu karakteristik masalah dalam langkah metode ilmiah adalah masalah harus nyata (*real problem*) dan memiliki nilai signifikansi yang tinggi (manfaat besar). Upaya untuk sampai kepada signifikansi atau manfaat dan pentingnya suatu masalah untuk dilakukannya penelitian adalah perlu melakukan penelaahan ilmu yang tidak dapat dielakkan, yaitu studi terhadap teori atau penelitian yang pernah disusun oleh ilmuwan atau peneliti sebelumnya. Sekaligus ini menjadi definisi dari telaah penelitian terdahulu, yaitu suatu kegiatan studi terhadap teori atau penelitian yang pernah disusun oleh peneliti sebelumnya.

Telaah terhadap penelitian terdahulu ini memiliki beberapa manfaat, yaitu: (1) untuk memahami bagaimana dinamika perkembangan penelitian tentang masalah yang akan diteliti atau dikaji dan kecenderungan atau model penelitian yang sudah pernah dilakukan, sehingga dapat ditemukan ruang atau celah kosong yang belum diteliti oleh ilmuwan sebelumnya. Dengan demikian, suatu penelitian tidak melakukan pengulangan, atau dapat menghindari penciplakan (plagiat) terhadap suatu penelitian sebelumnya. (2) Kajian terhadap teori dan penelitian terdahulu memberikan *input* (masukan) dalam menyusun landasan kerangka penelitian.

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan dalam melakukan penelitian sehingga dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Selain itu juga sebagai pengecekan terhadap penelitian dengan judul yang sama sehingga dapat diantisipasi terjadinya plagiasi.

Penelitian tentang tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Sidoarjo telah dilakukan oleh Purnawali (2017) dengan menggunakan Metode SIG dan penginderaan jauh. Parameter yang digunakan adalah topografi, tutupan lahan, curah hujan, kerapatan drainase, dan penurunan tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hampir seluruh wilayah Kabupaten Sidoarjo merupakan daerah rawan banjir, dengan kerawanan sangat tinggi 33,14% dan tinggi 43,10%.

Analisis banjir di wilayah Tuban dilakukan oleh Agustin (2017) dengan menggunakan citra satelit *Landsat* dan *Quickbird*. Analisis daerah rawan banjir di khususkan pada kecamatan. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat peta rawan bencana banjir. Adapun parameter yang digunakan adalah data curah hujan, daerah aliran sungai, data jenis tanah, data *digital elevation model* (DEM), peta tutupan lahan yang sudah diolah dari citra *Landsat 8* untuk skala 1 : 25.000 dan dari citra *Quickbird* untuk tutupan lahan dengan skala 1 : 5000.

Penilaian Risiko Banjir di Wilayah Perkotaan Berbasis Analisis Spasial dan Faktor Sosial dilakukan di DAS Don River Toronto oleh Armenakis (2017). Metode penilaian risiko banjir ini dapat menyediakan peta risiko banjir total, serta peta risiko banjir terkait menjadi kelas rentan tertentu (yaitu, sosial vs infrastruktur). Bobot yang digunakan untuk kontribusi elemen bahaya dan kerentanan ditetapkan oleh tim proyek tanpa konsultasi pada tim pakar. Metode seperti analisis multi-kriteria bisa digunakan dimasa depan untuk penentuan bobot kontribusi. Penggunaan data dari alat pengukur hujan dan banjir juga harus dipertimbangkan. Lebih lanjut, model matematika yang berbeda juga bisa diselidiki untuk meningkatkan akurasi estimasi risiko banjir.

Metode penginderaan jauh dan SIG berguna untuk operasi bantuan dan penyelamatan serta untuk penilaian dampak terhadap infrastruktur dan properti.

Penginderaan jauh dan SIG digunakan secara operasional untuk peringatan dini dan dukungan keputusan oleh pihak berwenang selama bencana (Druvesh, 2016).

Kota Surat merupakan kota di Gujarat India yang sering terkena banjir pada musim hujan membutuhkan penanganan bencana yang lebih baik. Untuk perencanaan kesiapsiagaan bencana yang lebih baik dan pengkajian dampak bencana, perlu menggunakan data penginderaan jauh dengan data spasial temporal yang diperlukan untuk ekstraksi informasinya. Kerangka SIG menyediakan fasilitas untuk pengintegrasian data, permintaan, analisis dan mendukung keputusan.

Hasil-hasil penelitian seperti ini telah memberikan wawasan tentang kemungkinan aplikasi penginderaan jauh dan SIG dalam manajemen banjir (Farajzadeh, 2002; Pradhan, Pirasteh dan Shafie, 2009; Konadu dan Fosu, 2009; Haq et al., 2012; Opolot, 2013; Tehrany, Pradhan dan Jebur, 2014; Tehrany et al., 2015; Druvesh, 2016).

Penelitian di Kabupaten Anand Taluka Gujarat India, dekat Sungai Mahi, daerah yang sangat rentan terhadap banjir selama musim hujan. Dalam penelitian ini Praful (2016) menggunakan penginderaan jauh dan SIG dalam pembuatan peta-peta dasar untuk desa-desa yang sangat rentan terhadap banjir. Beberapa parameter yang lazim digunakan dalam zonasi risiko banjir di suatu wilayah adalah kepadatan populasi, sumberdaya yang tersedia, bentuk lahan (*landform*), dan ketinggian wilayah geografis. Biasanya zonasi ini membagi suatu wilayah menjadi zona berisiko tinggi, zona risiko sedang, dan desa-desa dengan zona risiko rendah (Jonkman, Kok & Vrijling, 2008; Kussul et al., 2010; Schumann & Di-Baldassarre, 2010; Taubenbock et al., 2011; Skakun et al., 2014; Mohammed, 2018).

Penilaian kerentanan banjir juga dapat dilakukan berdasarkan pada penginderaan jauh dan aplikasi SIG di suatu daerah (Arghajeet, 2016). Studi ini menunjukkan cara yang efektif dan efisien untuk membuat basis data spasial untuk mengidentifikasi permukiman manusia yang cenderung rentan terhadap banjir akibat hujan. Namun harus diakui bahwa akurasi informasi, catatan banjir yang lalu, tergantung pada peta yang mewakili, terutama skalanya. Meskipun banjir adalah fenomena alam yang terjadi dan tidak bisa dihentikan, tetapi dapat diminimalkan dengan perencanaan sistem manajemen yang lebih baik, dengan fokus yang lebih besar (Li et al., 2008; Zhijia et al., 2008; Tariq & de Giesen, 2012; Tingsanchali, 2012; Kai, Deyi & Zhaohui, 2016).

Metode 3D SIG dapat dimanfaatkan untuk pemodelan banjir di suatu DAS atau lembah sungai. Tymkow (2016) membangun kerangka ruang untuk mensimulasikan fenomena banjir membutuhkan penyelesaian sejumlah masalah kecil seperti algoritma optimasi untuk membuat dan generalisasi spasial informasi berdasarkan data terukur, standardisasi informasi, skala dan resolusi untuk fenomena model aliran. Sistem informasi spasial yang dikembangkan terbuka sepenuhnya dengan solusi independen untuk pemodelan hidrodinamik banjir di lembah sungai. Berkat generalisasi data spasial multilevel dan modular arsitektur sistem, dimungkinkan untuk menggunakan model hidrodinamik yang berbeda (Hankin et al., 2008; Michel-Dansac et al., 2016; Bertsch, Glenis dan Kilsby, 2017; Glenis, Kutija dan Kilsby, 2018).

Ariyora (2015), melakukan penelitian untuk Provinsi DKI Jakarta mengenai pemanfaatan data penginderaan jauh dan SIG untuk Analisa Banjir. Tujuan dari penelitian ini adalah mengelola parameter banjir menggunakan perangkat lunak SIG untuk pembuatan peta jenis tanah, peta curah hujan, peta ketinggian, peta

kemiringan lereng, dan peta *buffer* DAS sungai Ciliwung, menganalisis peta parameter banjir untuk membuat peta bahaya banjir pada banjir November 2012 dan melakukan validasi titik-titik bahaya banjir dengan data lapangan dari BNPB tahun 2012.

Metode penginderaan jauh dan teknologi SIG dapat membantu manajemen data untuk pemodelan banjir perkotaan. *Landuse/landcover* wilayah DAS telah diturunkan dari data penginderaan jauh. Aliran darat telah dimodelkan menggunakan pendekatan keseimbangan massa, aliran saluran menggunakan perkiraan gelombang difusi dan aliran dataran banjir menggunakan pendekatan berbasis raster (Eldho, 2014). Penerapan model *Integrated Flood Assessment Model* (IFAM) pada wilayah perkotaan menunjukkan bahwa model dan teknik geospasial sangat membantu dalam pemodelan pendugaan risiko banjir (Chen, Yeh & Yu, 2011; Hsu et al., 2011; Wang et al., 2011; Wu, et al., 2015; Liu et al., 2019).

Model ekstraksi tingkat banjir dapat dikembangkan berdasarkan algoritma jarak minimum dan *overlay* dengan pengaruh banjir faktor alami dipertimbangkan di sini untuk menguji pengaruh masing-masing faktor dalam pembangkitan banjir (Lawal, 2014). SIG *data base* spasial diciptakan dari peta geologi, citra satelit *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT), dan peta topografi. Sebuah *data base* atribut juga dibuat dari investigasi lapangan dan laporan historis wilayah banjir dari wilayah studi. Hasilnya menunjukkan korelasi yang kuat antara model ekstraksi ketinggian banjir dan faktor banjir (Opolot, 2013). Hasil-hasil penelitian para ahli yang menggunakan SIG dan penginderaan jauh untuk memetakan daerah yang berisiko mengalami banjir telah banyak digunakan dalam program mitigasi bencana banjir (Ramlal & Baban, 2008; Kourgialas & Karatzas, 2011; Haq et al.,

2012; Li et al., 2013; Zhang & You, 2013; Abdeyazdan & Jodaki, 2015; Dang & Kumar, 2017).

Penelitian genangan banjir di Kabupaten Sinjai Provinsi Sulawesi Selatan, tujuan pada penelitian ini adalah menganalisa dan mensimulasikan model spasial genangan air di wilayah Sungai Mangottong menggunakan data DEM dan volume air banjir Seniarwan (2013). Data DEM dibuat dengan cara menggabungkan DEM SRTM 30 m dan DEM hasil interpolasi ketinggian lokasi dari beberapa sumber data, volume banjir diperoleh dengan menghitung volume kurva hidrograf sintesis debit air banjir. Algoritma aproksimasi model digunakan untuk menganalisis ketinggian genangan air berdasarkan perbandingan antara volume air pada daerah yang tergenang dengan volume air sumber banjir. Akurasi model genangan cukup akurat, dengan nilai R² sebesar 0,72 untuk kedalaman genangan air dari hasil simulasi model tahun 2006.

Analisis potensi bahaya banjir di Kabupaten Sampang dilakukan berdasarkan curah hujan global *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Analisis potensi bahaya banjir dapat dilakukan berdasarkan data TRMM, DEM, peta penggunaan Lahan, dan peta jenis tanah, kemudian dilakukan analisis hubungan TRMM dengan bahaya banjir dari data curah hujan (Huffman et al., 2007; Almazroui, 2011; Bioresita, 2012; Tekeli, 2017).

Lukman et al (2011), melakukan penelitian untuk daerah Surabaya mengenai aplikasi SIG untuk penyusunan data evaluasi daerah rawan bahaya banjir. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi bahaya banjir di Surabaya apakah bertambah, berkurang, atau bahkan tidak ada perubahan yang signifikan sehingga terdapat titik-titik yang selalu menjadi langganan tergenang. Setelah dievaluasi dibuat

Sistem Informasi Geografisnya untuk tampilan antar muka agar peta yang disajikan lebih interaktif.

Studi Pemetaan Daerah Bahaya banjir di Wilayah Pasuruan dilakukan untuk menghasilkan peta bahaya banjir di wilayah Pasuruan yang dapat dijadikan sebagai salah satu acuan dalam penanggulangan bencana dan mitigasi bencana. Studi yang dilakukan oleh para ahli mengidentifikasi, memperkirakan dan memetakan daerah-daerah atau zone bahaya banjir, serta menganalisis penyebaran dan karakteristik daerah bahaya banjir di suatu DAS atau suatu wilayah pembangunan (Apel et al., 2004; Hardmeyer & Spencer, 2007; Apel et al., 2009; Prakoso, 2011; Armenakis & Nirupama, 2014; Ntajal et al., 2017).

Model spasial dapat diterapkan untuk mengetahui dampak luapan banjir sungai Ciliwung terhadap penggunaan lahan di daerah penelitian yaitu Bukit Duri Jakarta. Yulianto (2010) melakukan pemodelan spasial banjir dari berbagai skenario ketinggian air saat menggenang (*modelling hazard assessment*) dan melakukan perhitungan dampak simulasi model banjir yang dihasilkan terhadap penggunaan lahan di daerah penelitian (*calculation impact flood to landuse area*). Metode Penelitian ini meliputi pengembangan aplikasi *neighbourhood operation* berupa perhitungan raster piksel yang diterapkan pada nilai model ketinggian suatu tempat (DEM) dengan model iterasi untuk menentukan daerah genangan. Penggunaan lahan baik yang tergenang maupun tidak adalah hasil interpretasi data penginderaan jauh.

Dalam Luas banjir sungai Gangga di Kalu Sri Lanka dapat diekstraksi dari citra satelit yang tersedia untuk satu kejadian banjir 50 tahun yang terjadi pada Juni 2008 di Sungai Gangga, Sri Lanka. Kemudian dibandingkan dengan tingkat banjir yang berasal dari tingkat banjir yang diperoleh untuk curah hujan 50 tahun

menggunakan *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)* dan *Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS)*.

Studi ini mengungkapkan bahwa sekitar 11,5 km² dan 5,41 km² berada pada risiko tinggi (Samarasinghe, 2010).

Pemetaan daerah bahaya dan risiko banjir di wilayah Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur dilakukan dengan menggunakan Metode SIG (Primayuda, 2006). Kajian-kajian tentang pemetaan risiko banjir, kerusakan banjir, kerawanan banjir dan mitigasi bencana banjir telah dilakukan oleh para peneliti menggunakan pemodelan matematika dan spatial dengan metode GIS (Apel, Merz & Thieken, 2008; Morita, 2008; de Kok & Grossmann, 2010; Olsen et al., 2015; Li et al., 2016; Tanguy et al., 2017; Oubennaceur et al., 2019).

2.2. Wilayah Rawan Banjir

Wilayah kerawanan banjir merupakan suatu kawasan yang sering atau berpotensi tinggi mengalami bencana banjir. Banjir adalah salah satu risiko alam yang paling lazim, yang berdampak pada kehidupan manusia dan dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang sangat besar di suatu daerah. Indonesia adalah salah satu dari banyak negara Asia dimana banjir lebih sering terjadi di berbagai lokasi. Banjir secara langsung mengancam kehidupan manusia dan propertinya dan secara tidak langsung juga dapat mengancam perekonomian masyarakat. Banjir yang sering terjadi telah menyebabkan kerusakan besar pada jalan-jalan raya, permukiman penduduk, lahan-lahan pertanian dan mata pencaharian masyarakat. Berbagai daerah di Indonesia terkena dampak banjir karena curah hujan yang tinggi dan curah hujan konvensional, topografi miring, pendangkalan saluran sungai dan aktivitas manusia seperti deforestasi, praktik

pertanian intensif, dan urbanisasi. Dapat dipahami bahwa banjir juga dapat terjadi karena urbanisasi cepat yang tidak terkendali, perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) yang buruk, terutama di dataran banjir.

Semua faktor-faktor ini berkontribusi pada meningkatnya risiko banjir di berbagai daerah di Indonesia. Efisiensi sistem pengelolaan banjir pada dasarnya penting karena memengaruhi dua komponen vital, yaitu korban nyawa manusia dan kerusakan properti. Jika pemerintah menerapkan sistem pengelolaan banjir yang

efisien, maka tingkat kerusakan akibat banjir dan korban kehidupan manusia dapat

dikurangi. Salah satu bagian terpenting dari manajemen banjir adalah menilai kerentanan banjir. Kerentanan banjir merupakan elemen kunci dalam penilaian

risiko banjir dan evaluasi kerusakan banjir. Ada kebutuhan yang semakin mendesak untuk meningkatkan pemahaman tentang kerentanan banjir yang dianggap sebagai akar penyebab terjadinya bencana banjir. Kerentanan banjir dapat dievaluasi sebagai persentase dari perkiraan kerugian akibat banjir dengan jumlah kerugian yang dapat ditentukan; dan kerentanan ini dinyatakan dalam skala

0-1 (skala 0 berarti tanpa kerusakan dan skala 1 berarti kerusakan total) (Hussain,

Nor & Ismail, 2014). Karena kerentanan banjir di suatu daerah tergantung pada

beberapa faktor lingkungan, ekonomi, sosial dan bahkan politik, maka tidak mudah

untuk mengukur kerentanan banjir (Khan, 2012). Kerentanan banjir dipengaruhi

oleh beberapa faktor termasuk kondisi pemukiman manusia, infrastruktur,

kebijakan dan kemampuan pemerintah, ketidakseimbangan sosial, pola ekonomi,

dimana kerentanan banjir berbeda-beda untuk orang-orang dalam kondisi yang

berbeda (Nasiri & Shahram, 2013). Untuk mencapai tujuan ini, maka perlu

mengembangkan indeks kerentanan banjir, yaitu pendekatan yang dapat

menentukan daerah mana yang paling rentan terhadap banjir dan harus difokuskan pada peristiwa banjir di masa mendatang.

Identifikasi daerah rawan banjir dalam suatu DAS dan penerapan langkah-langkah remediasi di daerah rawan banjir dapat secara signifikan mengurangi kerusakan banjir. Para ahli mengusulkan pendekatan DAS untuk meminimalkan kerusakan banjir, yaitu dengan mengidentifikasi daerah rawan banjir di suatu DAS.

Analisis berbasis GIS dari suatu DAS dapat dilakukan untuk mengembangkan indeks kerentanan banjir. Kerentanan banjir suatu DAS dapat dianalisis dengan mengukur indeks yang berbeda-beda, risiko erosi tanah, potensi tanah untuk pertanian, kerentanan populasi, kerentanan infrastruktur jalan-jalan, kerentanan infrastruktur pasar, kerentanan area genangan banjir dan kerentanan total infrastruktur (Smith & Hersey, 2008; Huang, Mirzaei & Yap, 2016). Kerangka kerja indeks kerentanan banjir yang dikembangkan ini dapat bermanfaat bagi pengelola DAS dan pembuat kebijakan untuk mengembangkan rencana sistematis di suatu DAS sehingga korban nyawa manusia dan harta benda dapat diminimalkan apabila terjadi banjir besar di masa mendatang.

2.2.1 Banjir

Banjir selalu menimbulkan masalah, baik berupa kerugian materil ataupun non materil oleh karena itu banjir merupakan bencana. Adapun pengertian bencana menurut UU No. 24 tahun 2007 adalah sebuah peristiwa atau rangkaian dari peristiwa yang bisa mengancam dan bisa mengganggu kehidupan serta penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh, faktor alam dan/atau faktor non alam ataupun faktor manusia sehingga dapat mengakibatkan timbulnya korban

jiwa manusia, kerugian harta benda, kerusakan lingkungan, serta dampak psikologis.

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yaitu bencana yang oleh cuaca, seperti: kebakaran hutan dan lahan, kekeringan, angin puting beliung, gelombang pasang dan banjir. Peningkatan bencana hidrometeorologi, khususnya bencana banjir akan lebih sering terjadi, karena peningkatan curah hujan terus terjadi di seluruh Indonesia. Pengaruh perubahan iklim juga ikut memberikan kontribusi dalam peningkatan kejadian bencana hidrometeorologi (Suripin, 2016). Bencana alam berupa banjir sering terjadi di beberapa kota dengan skala berbeda, dimana daratan yang biasanya kering terjadi genangan air dengan jumlah yang berlebih.

Banjir biasanya terjadi di dataran rendah yaitu daerah hilir. Peristiwa banjir ini selalu terjadi secara berulang yang mengakibatkan terbawanya material sedimen yang diendapkan di tempat-tempat tertentu, sehingga membentuk lahan bentukan banjir. Bentuk lahan bentukan banjir tersebut antara lain berupa: tanggul alam, dataran banjir, *backswamp*, gosong lengkung dalam dan bekas sungai (Haryani, 2001).

Secara umum banjir dapat dibagi menjadi dua yaitu: kesatu, peristiwa tergenangnya dataran (yang biasanya kering) karena meningkatnya volume air, dan kedua, peristiwa meluapnya air di permukaan akibat limpasan air dari sungai karena debit air banjir tidak dapat dialirkan oleh alur sungai atau debit air banjir lebih besar dari kapasitas pengaliran sungai (Kodoatie, 2001).

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), pengertian banjir adalah berair banyak serta deras, kadang-kadang meluap (tentang kali dan sebagainya).

Menurut (Seyhan, 1990), secara umum banjir adalah kejadian dimana daratan

yang biasanya kering atau bukan daerah rawa tergenang oleh air, yang disebabkan oleh tingginya curah hujan serta topografi wilayah berupa dataran rendah sampai cekung. Rendahnya kemampuan infiltrasi tanah juga menyebabkan tanah tidak mampu menyerap air.

Banjir merupakan aliran air sungai yang tingginya melewati muka air normal sehingga melimpas melebihi palung sungai yang menyebabkan terjadinya genangan air di sisi sungai. Aliran air limpasan yang semakin meninggi, melimpasi dan mengalir melalui muka tanah yang biasanya tidak dilimpasi aliran air (Middlemann et al., 2008). Hal itu terjadi sebab jumlah air yang berada di danau, sungai, atau pada daerah aliran air lain yang telah melebihi kapasitas normalnya sehingga terjadi akumulasi air hujan atau terjadi pemampatan mengakibatkan air menjadi meluber.

Banjir merupakan sebuah peristiwa yang terjadi pada saat ada aliran air yang berlebih merendam wilayah daratan dengan segala efek (dampak)nya. Walaupun kerusakan yang diakibatkan oleh banjir dapat dihindari dengan cara menjauhi atau pindah dari wilayah dekat sungai, danau, atau aliran air lainnya, namun masyarakat yang bermukim di wilayah rawan banjir tetap menetap dan tinggal serta bekerja di dekat daerah tersebut guna mencari nafkah dan hidup bersama keluarga yang sudah biasa terkena banjir. Hal ini membuktikan ternyata nilai menetap di daerah rawan banjir lebih besar dibandingkan dengan menyesuaikan diri pada lokasi yang baru.

Banjir merupakan peristiwa alam yang biasanya terjadi di sebuah kawasan yang banyak dikelilingi oleh aliran sungai. Dengan kata lain, banjir dapat didefinisikan sebagai adanya air di sebuah kawasan yang luas sampai menutupi permukaan bumi kawasan tersebut.

Berdasarkan penyebabnya, banjir dibedakan menjadi tiga macam yaitu (Suripin, 2004): (1) Banjir kiriman, aliran banjir yang datang dari daerah hulu di luar wilayah yang tergenang. Peristiwa ini terjadi jika hujan yang terjadi di daerah hulu menyebabkan aliran air banjir melebihi kapasitas sungai atau kanal banjir yang ada, sehingga terjadi air limpasan. (2) Banjir lokal, adalah genangan air yang timbul karena hujan yang jatuh di daerah itu sendiri. Peristiwa ini terjadi kalau hujan yang ada melebihi kapasitas sistem drainase. Pada banjir lokal, umumnya ketinggian genangan air berkisar 0,2 – 0,7 m dengan lama genangan 1 – 8 jam, biasanya terjadi pada wilayah yang rendah. (3) Banjir rob, adalah banjir yang terjadi akibat aliran langsung air pasang dan/atau air balik melalui saluran drainase yang terhambat oleh air pasang.

2.2.2 Penyebab banjir

Saat air hujan turun dan mencapai permukaan bumi, sebagian air meresap ke dalam tanah dan menjadi air tanah, sebagian lain mengalir di permukaan tanah sebagai aliran air permukaan, secara umum terekspresikan menjadi aliran sungai, dan sebagian kecil menguap. Secara alamiah, pada waktu tertentu, ketika curah hujan sangat tinggi pada musim hujan, aliran permukaan menjadi sangat besar dan melebihi kapasitas tampung sungai dan tidak dapat disalurkan dengan baik melewati aliran sungai. Air meluap sehingga terjadi apa yang kita sebut dengan banjir (Smith et al., 2020). Menurut ilmu hidrologi banjir merupakan aliran permukaan yang berlebih (Aliran permukaan = curah hujan – (infiltrasi + penguapan air) (van der Gugten, 1992; Martins et al., 2016).

Besar curah hujan serta penguapan air di suatu wilayah adalah faktor yang ditentukan oleh kondisi alam, sedangkan manusia tidak dapat mempengaruhinya.

Manusia cuma bisa mempengaruhi peresapan air masuk ke dalam tanah.

Peresapan (infiltrasi) air hujan ke dalam tanah ditentukan oleh karakteristik DAS, seperti karakteristik tanah, kondisi permukaan lahan, kemiringan lahan, dan vegetasi penutup muka lahan (Zeiringer et al., 2018).

Kondisi tanah, tanah berpasir serta gembur lebih mudah menyerap air dibanding tanah yang banyak mengandung lempung. Terhadap faktor ini, manusia dapat berusaha mengurangi peresapan air dengan cara pemadatan tanah, atau menutup lapisan permukaan tanah menggunakan material yang kedap air misalnya menutupi permukaan tanah dengan beton.

Kondisi permukaan tanah, permukaan yang ditumbuhi rumput dan semak belukar bisa lebih banyak menyerap air dibandingkan tanah yang tidak memiliki rumput dan belukar atau memiliki rumput dan belukar yang jarang. Manusia bisa mempengaruhi faktor ini dengan usaha memelihara rumput dan belukar, atau menghilangkan rumput dan belukar.

Kemiringan lereng permukaan tanah. Tanah-tanah yang memiliki sudut kemiringan lereng yang kecil akan lebih mudah menyerap air dibandingkan tanah yang memiliki sudut kemiringan lereng besar. Manusia dapat mempengaruhi faktor kemiringan lereng ini, misalnya dengan membuat lahan berteras. Daerah yang memiliki kemiringan lereng kurang dari 2% atau datar juga merupakan daerah yang rawan banjir karena air tidak mampu mengalir apalagi ditunjang oleh kemampuan tanah untuk berinfiltrasi sangat kecil karena daerah dataran rendah memiliki ciri khas yaitu merupakan daerah delta, sering terjadi banjir. Daerah yang berada di dataran rendah bisa mengalami banjir, hal ini dikarenakan luapan air yang akan mengalir dari daerah di dataran tinggi ke daerah dataran rendah sehingga dapat berisiko terkena banjir.

Vegetasi penutup muka lahan. Daerah-daerah yang banyak ditumbuhi pohon akan lebih banyak menyerap air dibandingkan tanah yang sedikit atau tidak ditumbuhi pepohonan. Manusia dapat mempengaruhi faktor vegetasi ini dengan cara menanam atau memelihara pepohonan untuk mengurangi limpasan permukaan, atau sebaliknya dapat meningkatkan limpasan permukaan karena menebang pohon yang ada (Abrahams, Parsons & Wainwright, 1995.; Crockford & Richardson, 2000; Ivanov, Bras & Vivoni, 2008; Park & Cameron, 2008; Nagase & Dunnett, 2012).

Beberapa variabel banjir yang lazim digunakan dalam penelitian hidrologi adalah: curah hujan, jenis tanah, kemiringan lahan, tutupan lahan, dan penggunaan lahan (Changnon dan Demissie, 1996; Matheussen et al., 2000; Dyhouse, 2003; Chen et al., 2010; Li-juan et al., 2010; Martins et al., 2016; Guzha et al., 2018; Lei & Zhu, 2018; Erena & Worku, 2019).

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang dikumpulkan dalam alat penakar hujan di tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir (BMKG, 2017). Curah hujan merupakan volume air yang jatuh pada sebuah kawasan tertentu (Arsyad, 2010). Sedangkan menurut Tjasyono (2004), curah hujan merupakan jumlah air hujan yang turun pada sebuah kawasan dalam waktu tertentu, atau curah hujan merupakan butiran air dapat bentuk cair atau padat berada di atmosfer yang jatuh ke atas permukaan bumi, atau curah hujan adalah unsur iklim yang sangat penting untuk kehidupan di bumi. Jumlah curah hujan umumnya dicatat dalam satuan inci atau milimeter ($1 \text{ inci} = 25,4 \text{ mm}$). Jumlah curah hujan 1 mm mengindikasikan tinggi air hujan yang menutupi permukaan bumi setinggi 1 mm, seandainya air tersebut tidak ada yang meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer. Menurut Triatmodjo (2009), stasiun

penakar hujan hanya memberikan data kedalaman hujan di titik dimana stasiun penakar berada, sehingga curah hujan pada sebuah kawasan harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Seandainya pada sebuah kawasan terdapat lebih dari satu buah stasiun pengukuran yang ditempatkan terpencar, maka hujan yang tercatat oleh masing-masing stasiun pengukur bisa tidak sama nilainya. Untuk analisis hidrologi data ini diperlukan untuk menetapkan rerata hujan pada daerah tersebut. Analisis curah hujan titik adalah analisa data hujan yang dikumpulkan oleh satu stasiun sebagai individu. Loebis (1987) mengatakan bahwa metode yang digunakan untuk perhitungan curah hujan rerata wilayah ada tiga metode, yaitu metode rata-rata aritmatika (aljabar), metode poligon Thiessen, dan metode Isohyet. Poligon Thiessen mendefinisikan individu luasan yang dipengaruhi oleh sekumpulan titik yang berada di sekitarnya. Poligon ini merupakan pendekatan dari informasi titik yang diperluas (titik diubah menjadi poligon) menggunakan asumsi bahwa informasi yang terbaik buat semua lokasi yang tanpa pengamatan merupakan informasi yang terletak pada titik terdekat dimana hasil pengamatannya diketahui (Primayuda 2006). Daerah yang mempunyai tebal hujan yang tinggi maka daerah tersebut akan lebih berpengaruh terhadap kejadian banjir (Higashino & Stefan, 2019). Berdasarkan hal tersebut maka untuk pemberian skor ditentukan aturan semakin tinggi tebal curah hujan maka skor untuk tingkat kerawanan semakin tinggi. Adapun pembagian kelas curah hujan berdasarkan tebal curah hujan seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi curah hujan tahunan

Curah hujan (mm/th)	Kelas	Keterangan
<1500	Sangat rendah	Sangat kering
1500 – 2000	Rendah	Kering
2000 – 2500	Sedang	Sedang
2500 – 3000	Tinggi	Basah
> 3000	Sangat tinggi	Sangat basah

Sumber: Primayuda (2006)

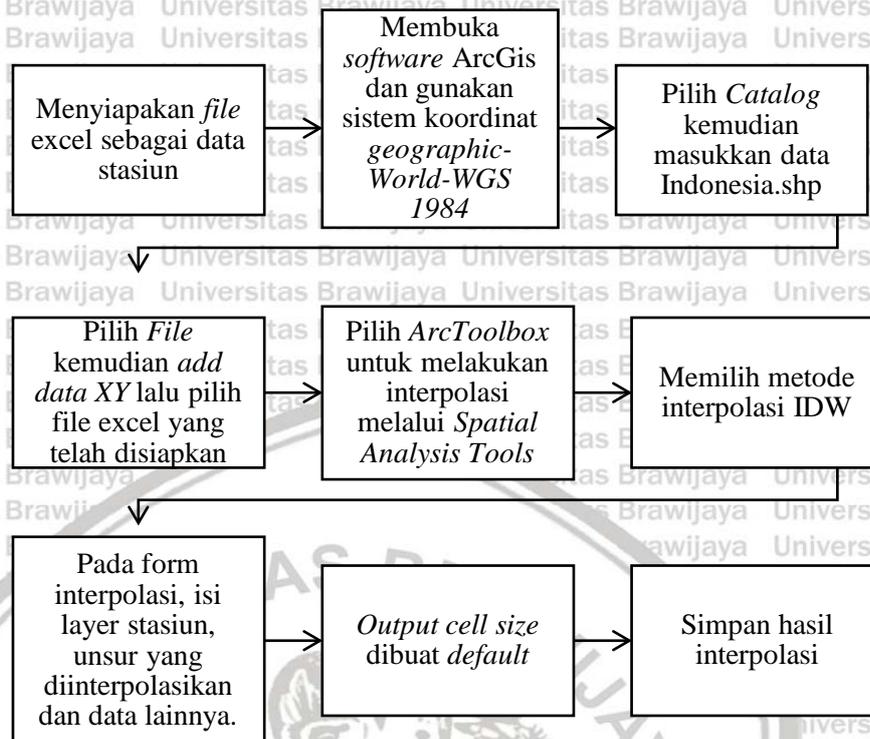
Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) adalah metode *deterministic* yang cukup sederhana dengan mempertimbangkan titik di sekitar stasiun. Asumsi pada metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih serupa pada data sampel yang berdekatan daripada yang lebih jauh data sampelnya. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jarak dan data sampelnya. Bobot tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel. Tampak warna yang lebih tua menunjukkan daerah dengan curah hujan yang tinggi.

Penentuan hasil pada metode IDW berdasarkan pada asumsi bahwa nilai atribut z (nilai yang diestimasi) pada titik yang tidak didata adalah merupakan fungsi jarak dan nilai rata-rata titik yang berada di sekitarnya. Hasil interpolasi tergantung dari seberapa kuat sebuah titik data yang diketahui mempengaruhi daerah di sekitarnya. Selain itu juga jumlah titik yang digunakan untuk perhitungan nilai rerata, serta ukuran *pixel/raster* yang dikehendaki.

Interpolasi menggunakan metode IDW menghasilkan nilai dengan cakupan wilayah yang lebih luas. Nilai interpolasi akan semakin mirip pada data sampel yang berdekatan lokasinya daripada data yang lokasinya berada lebih jauh.

Metode ini menggunakan rerata dari data sampel sehingga nilainya tidak akan bisa kecil dari minimum atau besar dari data sampel. Puncak bukit atau lembah paling dalam tidak akan dapat ditampilkan menggunakan interpolasi model IDW ini (Watson & Philip, 1985). Supaya mendapatkan hasil yang baik, maka sampel data yang akan digunakan harus rapat serta berhubungan dengan variasi lokal.

Seandainya sampel agak jarang serta tidak merata, hasilnya besar kemungkinan tidak sesuai dengan yang dikehendaki.



Gambar 2.1. Diagram alir metode interpolasi IDW.

Metode *Spline* adalah metode interpolasi yang umum digunakan untuk mendapatkan harga melalui kurva minimum dari nilai-nilai *input*. Metode ini baik digunakan untuk membuat permukaan seperti ketinggian permukaan bumi, ketinggian muka air tanah, ataupun konsentrasi polusi udara. Metode interpolasi *spline* mengestimasi nilai sel sesuai dengan nilai rerata pada pendekatan antara *point* pada data masing-masing contoh. Metode ini memiliki asumsi bahwa variabel yang dipetakan akan berkurang pengaruhnya ketika menjauhi *point* sentral. Kelebihan metode ini yaitu dapat memetakan dengan baik interpolasi beberapa *point* yang menyebar serta penggambaran spasial yang lebih halus.

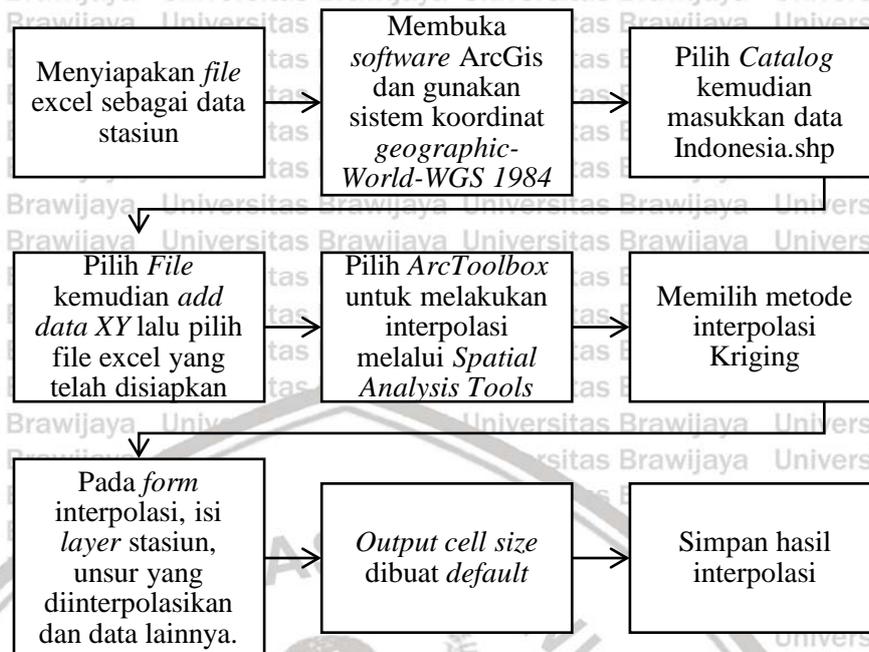
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa semua stasiun titik curah hujan mempunyai warna yang sama.

Metode ini baik digunakan untuk membuat permukaan seperti posisi ketinggian permukaan bumi, konsentrasi polusi udara, dan ketinggian muka air tanah.

Kurang bagus digunakan untuk keadaan dimana terdapat perbedaan nilai yang cukup besar pada jarak yang sangat berdekatan.

Metode poligon Kriging merupakan Interpolasi *stochastic* menggunakan penilaian kesalahan dengan nilai prediksi. Metode ini mengasumsikan kesalahan acak. Contoh model ini yang populer adalah metode Kriging. Metode Kriging merupakan estimasi *stochastic* yang mirip dengan IDW, menggunakan kombinasi linear dari bobot untuk memprediksi nilai di antara sampel data. Metode poligon ini dikembangkan oleh D. L. Krige awalnya untuk memperkirakan nilai bahan tambang. Asumsi model ini adalah jarak serta orientasi antara sampel data yang menunjukkan korelasi spasial. Model ini memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Semivariogram yang digunakan pada model ini juga merepresentasikan perbedaan spasial serta nilai diantara semua sampel data. Semivariogram ini menunjukkan bobot (*weights*) yang digunakan dalam interpolasi (Hadi, 2013).

Sedangkan penentuan hasil pada metode Kriging berdasarkan asumsi bahwa setiap titik di dalam bentang alam saling berhubungan dan mempunyai sebuah *trend*. *Trend* (persamaan matematis) yang digunakan untuk memprediksi titik yang tidak memiliki data/informasi. Pada interpolasi kriging, cakupan wilayah interpolasi lebih sempit. Pada jarak yang dekat (sumbu horisontal), *semivariance* bernilai kecil, pada jarak lebih besar, *semivariance* yang bernilai tinggi menunjukkan bahwa perbedaan dari nilai z tidak lagi ada hubungannya dengan jarak sampel *point*.



Gambar 2.2. Diagram alir metode interpolasi Kriging.

Jenis Tanah, kemampuan tanah menyerap air hujan ditentukan oleh beberapa faktor karakteristik fisika tanah, dan karakteristik morfologi tanah (Lipiec et al., 2006; Leonard et al., 2006; Icke, Prijino dan Soemarno, 2013; Sajjadi et al., 2016; Musa et al., 2017). Kota Pontianak terdiri dari dua jenis tanah, yaitu aluvial dan gambut. Tanah aluvial adalah tanah yang terbentuk dari bahan induk batuan sedimen. Tanah jenis ini yang bertekstur halus biasanya memiliki daya infiltrasi yang kecil, sehingga sebagian besar air hujan tidak terserap masuk ke dalam tanah tetapi langsung melimpas di permukaan tanah dan masuk ke dalam aliran sungai, danau, selokan, serta saluran air lainnya. Ketika air ada dalam jumlah banyak serta tidak dapat tertampung oleh sistem saluran-air yang ada, maka air tersebut dapat menggenangi dataran di sekitar aliran sungai (terjadi banjir). Jenis tanah gambut merupakan jenis tanah yang dapat menyerap air dengan cepat karena merupakan hasil bentukan pelapukan tumbuhan rawa, namun wilayah

yang memiliki jenis tanah gambut biasanya bermuka air tanah dangkal sehingga wilayah ini juga merupakan daerah rawan banjir (Braud et al., 2016).

Kemiringan Lahan (Lereng). Lereng merupakan permukaan tanah alam yang terlihat lebih menonjol karena adanya perbedaan tinggi pada kedua tempat.

Proses pembentukan lereng akibat adanya erosi, pelapukan dan juga pergerakan tanah. Tingkat kemiringan pada lereng bisa dilihat dari kontur tanahnya. Sedikit penjelasan, kontur merupakan garis tanah yang menghubungkan dari satu titik ke titik yang lainnya. Ada juga yang mengartikan kontur tanah sebagai tinggi

rendahnya suatu tanah atau yang disebut topografi. Untuk menentukan kontur maka dilakukan topografi dengan melihat garis kontur yaitu garis horizontal dan garis tinggi sehingga nantinya akan terlihat naik turunnya suatu permukaan tanah.

Kemiringan lereng adalah perbandingan antara beda tinggi (jarak vertikal) suatu lahan dengan jarak mendatarnya. Besar kemiringan lereng dapat dinyatakan dengan beberapa satuan, diantaranya adalah dengan % (prosen) dan ° (derajat).

Data spasial kemiringan lereng dapat disusun dari hasil pengolahan data ketinggian (garis kontur) dengan bersumber pada peta topografi atau peta rupabumi. Pengolahan data kontur untuk menghasilkan informasi kemiringan

lereng dapat dilakukan secara manual maupun dengan bantuan komputer. Hasil-hasil penelitian membuktikan bahwa topografi dan kemiringan lahan merupakan faktor penting yang mempengaruhi kejadian banjir dan kerawanan banjir suatu daerah (Valeo & Rasmussen, 2000; Jain & Sinha, 2003; Cook & Merwade, 2009;

Masoudian & Theobald, 2011; Manfreda, Di Leo & Sole, 2011; Masood & Takeuchi, 2012; Xie & Zhao, 2013; Elshorbagy et al., 2017).

Menurut Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung No. P.3/PDASHL/SET/KUM.1/7/2018 tentang Petunjuk Teknis

Penyusunan Data Spasial Lahan Kritis, mengelaskan menjadi 5 kelas yaitu: datar, landai, agak curam, curam, sangat curam.

Tabel 2.2. Kelas kemiringan lereng

Nomor	Klasifikasi Kemiringan Lereng (%)	Keterangan
1	0 – 5	Datar
2	5 – 15	Landai
3	15 – 25	Agak curam
4	25 – 45	Curam
5	> 45	Sangat curam

Sumber: Peraturan Dirjen PDASHL, 2018

Menurut Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial No. P.4/V-SET/ 2013 tentang Petunjuk Teknis Penyusunan Data Spasial Lahan Kritis, mengelaskan menjadi 5 kelas yaitu: datar, landai, agak curam, curam, sangat curam.

Tabel 2.3. Kelas kemiringan lereng

Nomor	Klasifikasi Kemiringan Lereng (%)	Keterangan
1	< 8	Datar
2	8 – 15	Landai
3	16 – 25	Agak curam
4	26 - 45	Curam
5	> 40	Sangat curam

Sumber: Peraturan Dirjen No. P.4/V-SET/2013

Tutupan Lahan (*landcover*), tutupan lahan merupakan garis yang menggambarkan batas penampakan area tutupan di atas permukaan bumi yang terdiri dari bentang alam atau bentang buatan (UU No. 4, 2011). Tutupan lahan bisa pula merupakan tutupan biofisik pada luasan permukaan bumi yang bisa diamati dan merupakan hasil pengaturan, aktivitas, serta perlakuan manusia yang dilakukan terhadap jenis penutup lahan tertentu agar melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada kawasan tersebut (SNI 7645, 2010).

Tutupan lahan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelas sesuai dengan kebutuhan. Sebagai variabel penyebab banjir Kota Pontianak, penutupan lahan

dibagi menjadi 3 (tiga) kelas, yaitu permukiman, lahan terbuka dan kebun campuran, sesuai dengan interpretasi citra *landsat Oli (Operational Land Imager)* 8 tahun 2018.

Penggunaan Lahan (*landuse*), pengertian penggunaan lahan juga dikemukakan oleh Arsyad (1989:207), "Penggunaan lahan (*landuse*) adalah segala bentuk campur tangan (intervensi) manusia pada lahan dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan hidupnya baik secara materil maupun spiritual".

Penggunaan lahan bisa dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu; pertama penggunaan lahan untuk pertanian, kedua penggunaan lahan bukan untuk pertanian. Penggunaan lahan dibedakan dalam garis besar penggunaan lahan berdasarkan penyediaan air dan komoditas yang diusahakan, dimanfaatkan atau terletak di atas lahan tersebut. Berdasarkan penggunaan ini bisa dikenal macam-macam penggunaan lahan antara lain tegalan, sawah, kebun, hutan produksi, dan hutan lindung. Untuk penggunaan lahan yang bukan untuk pertanian bisa dibedakan menjadi lahan permukiman, industri, pendidikan dan perkantoran, rumah ibadah, dan lain-lain. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa dinamika penggunaan lahan di suatu DAS sangat menentukan respon hidrologi DAS, debit aliran sungai dan banjir (Legesse, Vallet-Coulomb & Gasse, 2003; Yira et al., 2016; Welde & Gebremariam, 2017).

2.3. Model dan Pemodelan

Definisi Model atau Pemodelan menurut Jaya (2002) menyatakan bahwa analisis spasial yang juga disebut dengan pemodelan adalah suatu proses untuk mendapatkan atau mengekstraksi dan membentuk informasi baru dari data (*feature*) geografis. Analisis spasial mencakup proses pemodelan, pengujian

model dan interpretasi hasil model. Analisis spasial sangat bermanfaat untuk prediksi suatu kejadian melalui proses simulasi data geografis.

Model adalah representasi dari realita. Tujuan pembuatan model untuk membantu memahami, menggambarkan, atau memperkirakan bagaimana suatu kejadian bekerja di dunia nyata dengan penyederhanaan bentuk kejadian tersebut.

Pemodelan spasial merupakan sekumpulan proses yang dilakukan pada data spasial agar menghasilkan sebuah informasi, yang umumnya berbentuk peta.

Manfaat informasi tersebut dapat digunakan untuk kajian ilmiah, pembuatan keputusan, atau sebagai sebuah informasi umum. Pada saat kita membuat model, kita harus mengetahui informasi apa yang dapat diperoleh dari model tersebut, data apa saja yang diperlukan, dan bagaimana proses yang harus dilakukan untuk memperoleh hasil yang diinginkan (Nurse, 2010).

Pemodelan dapat dikelompokkan menjadi kartografi, prediktif dan simulasi komputer. Pemodelan Kartografi (*cartographic modeling*) menitikberatkan pada kedetailan pembuatan diagram alir (*flow chart*), perencanaan yang teliti untuk menderivasi data-data yang diharapkan dan bagaimana cara menggunakannya.

Pemodelan simulasi (*simulation modeling*). Pada pemodelan ini, pengguna model mencoba untuk melakukan simulasi terhadap fenomena yang kompleks yang menggunakan kombinasi informasi spasial dan non spasial (Riggs, 2000).

Aspek ini memerlukan suatu keahlian khususnya bagaimana suatu model dibangun. Contoh pada pemodelan evaluasi kesesuaian habitat satwa liar, kebun benih ataupun evaluasi kemampuan lahan maupun evaluasi tingkat kekritisan.

Dalam hal ini diperlukan beberapa *layer* pendukung yaitu: vegetasi, tingkat kerusakan tegakan, kelas lereng (*slope*), jalan dan aliran sungai. Selanjutnya model dapat dengan mengkombinasikan informasi tersebut dengan pembobotan

dan *buffer* jarak pengaruh terhadap akses jalan atau sungai. Kemudian dengan simulasi sehingga model dapat menentukan areal yang baik untuk habitat areal yang perlu diperbaiki. Contoh lain adalah pada pemodelan spasial tingkat dan zona kerawanan banjir hutan dan lahan. Digunakan *layer* akses jalan, sungai dan pemukiman penduduk, suhu, kecepatan angin, curah hujan, titik panas, biomassa, tutupan lahan. Kemudian dilakukan *buffering* dan pembobotan menggunakan persamaan metematis sehingga dicapai model terbaik.

Pemodelan prediktif (*predictive modeling*). Pada pemodelan ini biasanya menggunakan teknik statistik. Umumnya adalah analisis regresi untuk menyusun suatu model. Pengumpulan informasi tentang fenomena yang diamati, yang dilakukan dengan pembuatan sampel-sampel contoh pada setiap *feature* yang diwakili. Contoh: prediksi kerusakan hutan akibat perladangan maka dibutuhkan *layer* penutupan hutan, jalan, jumlah peladang, struktur keluarga peladang, tingkat pendidikan, dll. Contoh lain pada prediksi banjir di suatu DAS, beberapa indikator yang digunakan adalah jenis tanah, vegetasi, *slope*, aspek, tutupan lahan, penggunaan lahan, dan luas wilayah (Mukundan et al., 2019). Sampel di beberapa titik terhadap besarnya aliran permukaan diukur secara seksama dari waktu ke waktu. Satu set data tersebut kemudian digunakan untuk menyusun model.

2.3.1 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP merupakan teori pengukuran melalui perbandingan antara dua kriteria berpasangan yang bergantung pada penilaian dari seorang ahli untuk mendapatkan skala prioritas (Saaty, 2008). Teori ini dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970, dan sampai saat ini telah mengalami banyak perbaikan serta perkembangan. Kelebihan AHP adalah bisa memberikan kerangka berpikir

yang komprehensif serta rasional dalam menstrukturkan permasalahan dalam pengambilan keputusan. AHP dapat digunakan dalam menentukan prioritas dari beberapa kriteria terkait dengan masalah banjir, dengan melakukan analisa perbandingan berpasangan dari masing-masing kriteria (Emmanouloudis, Myronidis & Ioannou, 2008; Sinha et al., 2008; Meyer, Scheuer & Haase, 2009; Matori et al., 2014).

Prosedur *Analytical Hierarchy Process* (AHP), Tiga prinsip utama pemecahan masalah menggunakan AHP menurut Saaty, sebagai berikut: *Decomposition*, *Comparative Judgement*, serta *Logical Consistency*. Garis besarnya metode AHP meliputi tahapan berikut:

Dekomposisi masalah; Adalah langkah dimana sebuah tujuan (*goal*) yang telah ditetapkan, akan diuraikan secara sistematis dengan struktur yang menyusun rangkaian sistem supaya tujuan dapat dicapai secara rasional. Alias, satu tujuan yang utuh, didekomposisi (dipecahkan) ke dalam unsur penyusunnya. Jika unsur tersebut merupakan kriteria yang terpilih, maka harus mencakup semua aspek penting serta ada kaitannya dengan tujuan yang ingin dicapai. Tetapi kita harus tetap mempertimbangkan supaya kriteria yang dipilih adalah benar mempunyai makna untuk pengambilan keputusan serta tidak mempunyai pengaruh atau makna yang serupa, sehingga walaupun kriteria yang dipilih hanya sedikit namun mempunyai pengaruh yang besar terhadap tujuan yang hendak dicapai. Setelah kriteria ditetapkan, berikutnya adalah menetapkan pilihan atau alternatif penyelesaian masalah.

Hirarki I (Hirarki pertama) adalah tujuan/fokus/*goal* yang ingin dicapai atau penyelesaian masalah yang akan dikaji. Hirarki II (hirarki kedua) adalah kriteria-kriteria yang harus dipenuhi oleh semua penyelesaian (alternatif) agar layak

menjadi pilihan yang paling ideal. Hirarki ketiga (hirarki III) adalah penyelesaian atau alternatif pilihan masalah. Penetapan hierarki merupakan sesuatu yang sangat bergantung dan sangat relatif dari masalah yang dihadapi. Untuk kasus-kasus yang lebih kompleks, bisa disusun beberapa hirarki (tidak hanya tiga), tetapi tergantung dari hasil dekomposisi yang telah dilakukan.

Penilaian/pembobotan untuk membandingkan elemen-elemen; penilaian atau pembobotan perbandingan berpasangan pada tiap-tiap hirarki didasarkan pada tingkat kepentingan relatifnya. Pembobotan pada hirarki III, adalah untuk membandingkan nilai atau karakter yang dipilih berdasarkan tiap kriteria yang ada.

Seandainya antara pilihan 1 dengan pilihan 2, pada kriteria 1, ternyata lebih penting pilihan 1, kemudian antara pilihan 1 dengan pilihan 3, ternyata lebih penting pilihan 3, dan selanjutnya hingga semua pilihan alternatif akan dibandingkan secara berpasangan (satu-persatu). Hasil dari penilaian adalah bobot (nilai) yang merupakan karakter masing-masing pilihan alternatif.

Pembobotan atau penilaian pada hirarki kedua, adalah untuk membandingkan nilai dari masing-masing kriteria supaya tujuan tercapai. Sehingga nantinya akan didapat pembobotan tingkat kepentingan dari masing-masing kriteria agar tercapai tujuan yang telah ditetapkan.

Tahapan pembobotan perbandingan berpasangan dalam AHP, mengikuti skor dari penilaian yang telah dikembangkan oleh Saaty, sebagai berikut:

Tabel 2.4. Penilaian perbandingan berpasangan dalam AHP

Tingkat Kepentingan	Definisi	Keterangan
1	Pentingnya sama	Kedua unsur mempunyai pengaruh yang setara
3	Lebih penting sedikit	Penilaian dan pengalaman sangat memihak satu unsur dibandingkan dengan pasangannya
5	Lebih penting	Satu unsur sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata, dibandingkan dengan unsur pasangannya.
7	Sangat penting	Satu unsur terbukti sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata, dibandingkan dengan unsur pasangannya.
9	Mutlak lebih penting	Satu unsur terbukti mutlak lebih disukai dibandingkan dengan pasangannya, pada keyakinan tertinggi.
2, 4, 6, 8	Nilai tengah	Diberikan bila terdapat keraguan penilaian di antara dua tingkat kepentingan yang berdekatan.

Sumber: Saaty, 2008

Untuk penilaian atau pembobotan perbandingan berpasangan ini berlaku prinsip aksioma resiprokal, yaitu apabila sebuah unsur A memiliki nilai lebih esensial (5) dibandingkan unsur B, maka unsur B lebih esensial $1/5$ daripada unsur A. Kemudian apabila unsur A sama pentingnya dengan unsur B maka masing-masing unsur bernilai = 1.

Dalam pengambilan data, seandainya dengan menggunakan kuisisioner, tahapan perbandingan berganda dapat dilakukan dengan menggunakan kuisisioner berupa matrik atau semantik diferensial.

Tabel 2.5. Kuisisioner matrik

Kriteria/Alternatif	1	2	3	N
1		.../...	.../...	.../...
2			.../...	.../...
3				.../...
N				

Sumber: Saaty, 2008

Banyaknya sel yang harus diisi adalah $n(n-1)/2$ karena matrik resiprokal unsur diagonalnya bernilai = 1, maka tidak perlu diisi. Untuk contoh matrik di atas $4(4-1)/2 = 6$, maka bagian yang putih saja yang diisi.

Penyusunan matrik dan uji konsistensi; Penyusunan matrik berpasangan untuk melakukan normalisasi bobot level kepentingan pada tiap-tiap unsur pada hirarkinya masing-masing. Pada prosedur ini, analisis dapat dilakukan dengan menggunakan program komputer ataupun secara manual. Prosedur analisis secara manual, nilai-nilai yang diperoleh disusun ke dalam matrik berpasangan serupa dengan matrik yang digunakan pada kuisisioner matrik di atas. Tetapi untuk penyusunan matrik pada analisis data ini, kotak semuanya harus diisi. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

Langkah kesatu: menyatukan pendapat dari beberapa kuisisioner, seandainya kuisisioner diisi oleh para pakar, maka kita harus menyatukan pendapat dari para pakar dengan memakai persamaan rata-rata geometri:

$$GM = \sqrt[n]{(X_1)(X_2) \dots (X_n)} \dots \dots \dots 2.1$$

Dengan: $GM =$ geometric mean;

$X_1 =$ pakar ke-1

$X_2 =$ pakar ke-2;

$X_n =$ pakar ke-n

Langkah kedua, menyusun matrik perbandingan, sebagai berikut:

Tabel 2.6. Penyusunan matrik berpasangan

Kriteria/Alternatif	1	2	3	N
1	1	GM_{12}	GM_{13}	GM_{1n}
2	GM_{21}	1	GM_{23}	GM_{2n}
3	GM_{31}	GM_{32}	1	GM_{3n}
N	GM_{n1}	GM_{n2}	GM_{n3}	1

Sumber: Saaty, 2008

Sebelum melangkah lebih jauh keproses iterasi untuk menetapkan prioritas pada alternatif pilihan atau menetapkan tingkat kepentingan kriteria, sebelumnya harus dilakukan terlebih dahulu uji konsistensi. Pemberian pembobotan dilakukan pada masing-masing kuisisioner para pakar yang menilai untuk uji konsistensi. Kuisisioner para pakar yang tidak memenuhi syarat konsistensi dapat dianulir atau ditunda untuk dilakukan perbaikan. Prinsip dasar untuk uji konsistensi ini adalah

Unive jika unsur A lebih penting dari unsur B, kemudian unsur B lebih penting dari unsur Unive C, maka tidak mungkin unsur C lebih penting dari unsur A. Tolak ukur yang Unive digunakan yaitu *Consistency Index (CI)* berbanding dengan *Ratio Index (RI)* atau Unive disebut *Consistency Ratio (CR)*. Nilai *Ratio Index* yang biasa digunakan untuk Unive setiap ordo matrik adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7. Nilai *Ratio Index (RI)*

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

Sumber: Saaty, 2008

Unive Langkah ketiga, uji konsistensi harus lebih dahulu dilakukan, yaitu dengan Unive menyusun tingkat kepentingan relatif dari setiap kriteria atau alternatif yang Unive kemudian dinyatakan sebagai *normalized relative weight* (bobot relatif Unive ternormalisasi). Bobot relatif ternormalisasi ini merupakan sebuah bobot nilai Unive relatif untuk masing-masing unsur pada setiap kolom yang kemudian dibandingkan Unive dengan jumlah masing-masing unsur.

Tabel 2.8. Matrik berpasangan (*pairwise comparison*)

Kriteria/Alternatif	1	2	3	N
1	1	GM_{12}	GM_{13}	GM_{1n}
2	GM_{21}	1	GM_{23}	GM_{2n}
3	GM_{31}	GM_{32}	1	GM_{3n}
N	GM_{n1}	GM_{n2}	GM_{n3}	1
\sum	GM_{11-n1}	GM_{12-n2}	GM_{13-n3}	GM_{1n-ni}

Sumber: Saaty, 2008

Tabel 2.9. Bobot relatif ternormalisasi

Kriteria/Alternatif	1	2	3	N
1	$1/GM_{11-n1}$	GM_{12}/GM_{12-n2}	GM_{13}/GM_{13-n3}	GM_{1n}/GM_{1n-n3}
2	GM_{21}/GM_{11-n1}	$1/GM_{12-n2}$	GM_{23}/GM_{13-n3}	GM_{2n}/GM_{1n-n3}
3	GM_{31}/GM_{11-n1}	GM_{32}/GM_{12-n2}	$1/GM_{13-n3}$	GM_{3n}/GM_{1n-n3}
N	GM_{n1}/GM_{11-n1}	GM_{n2}/GM_{12-n2}	GM_{n3}/GM_{13-n3}	$1/GM_{1n-n3}$

Sumber: Saaty, 2008

Unive Kemudian Eigen vektor hasil normalisasi dapat dihitung dengan mencari rerata Unive penjumlahan dari tiap baris pada matrik di atas.

Tabel 2.10. Eigen vektor utama

Kriteria/ Alternatif	1	2	3	n	Eigen Vektor Utama
1	1/GM _{11-n1}	GM ₁₂ /GM _{12-n2}	GM ₁₃ /GM _{13-n3}	GM _{1n} /GM _{1n-n3}	Rerata row 1/4 (\bar{X}_1)
2	GM ₂₁ /GM _{11-n1}	1/GM _{12-n2}	GM ₂₃ /GM _{13-n3}	GM _{2n} /GM _{1n-n3}	Rerata row 2/4 (\bar{X}_2)
3	GM ₃₁ /GM _{11-n1}	GM ₃₂ /GM _{12-n2}	1/GM _{13-n3}	GM _{3n} /GM _{1n-n3}	Rerata row 3/4 (\bar{X}_3)
N	GM _{n1} /GM _{11-n1}	GM _{n2} /GM _{12-n2}	GM _{n3} /GM _{13-n3}	1/GM _{1n-n3}	Rerata row n/4 (\bar{X}_n)

Sumber: Saaty, 2008

Nilai eigen vektor maksimum merupakan jumlah hasil perkalian jumlah kolom dengan nilai eigen vektor utama. Nilai eigen vektor maksimum diperoleh dari persamaan:

$$\lambda_{maksimum} = (\sum GM_{11-n1} x \bar{X}_1) + \dots + (\sum GM_{1n-ni} x \bar{X}_n) \dots \dots \dots 2.2$$

Selanjutnya menentukan nilai *consistency Index* dari persamaan:

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n-1} \dots \dots \dots 2.3$$

Dengan: *CI* = indeks konsistensi $\lambda_{maksimum}$ = nilai eigen maksimum dari matrik berordo *N**N* = jumlah variabel atau variabelSelanjutnya dapat menentukan nilai *CI* setelah memperoleh nilai $\lambda_{maksimum}$.

Jika nilai *CI* yang diperoleh nol (0) berarti matrik konsisten. Seandainya nilai *CI* bernilai lebih besar dari 0 (*CI* > 0), maka harus diuji batas ketidakkonsistennya.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Consistency Ratio*, berupa nilai rasio, atau perbandingan antara *CI* dengan *RI*:

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots \dots \dots 2.4$$

Besarnya nilai *RI* yang dipakai sesuai dengan jumlah variabel. Apabila nilai *CR* lebih kecil dari 10% (0,1), dapat dianggap bahwa ketidakkonsistenan pendapat para pakar masih dapat diterima (konsisten).

Penetapan prioritas masing-masing hirarki, pada tiap-tiap hierarki dilakukan penetapan prioritas melalui proses iterasi (perkalian matrik). Tahap pertama yang

dilakukan adalah mengubah bentuk fraksi nilai-nilai pembobotan kedalam bentuk desimal.

Tabel 2.11. *Pairwise Comparison* bentuk fraksi

	A	B	C	D
A	1/1	1/2	3/1	4/1
B	2/1	1/1	1/3	3/1
C	1/3	3/1	1/1	2/3
D	1/4	1/3	3/2	1/1

Sumber: Saaty, 2008

Data Matrik di atas diubah dari bentuk fraksi kedalam bentuk desimal,

Tabel 2.12. *Pairwise Comparison* bentuk desimal

	A	B	C	D
A	1,00	0,50	3,00	4,00
B	2,00	1,00	0,33	3,00
C	0,33	3,00	1,00	0,67
D	0,25	0,33	1,50	1,00

Sumber: Saaty, 2008

Normalized Weight Matrix dengan membagi tiap elemen matrik dengan jumlah tiap kolom. Jumlahkan elemen tiap baris, *vector eigen* dapat dihitung dengan membagi jumlah baris elemen dibagi dengan jumlah variabel. Menghitung *Eigen Value* terbesar, λ_{max} dengan mengalikan jumlah nilai tiap kolom pada *reciprocal matrix* dengan tiap *Eigen vector*.

Metode AHP membantu dalam menentukan prioritas dari beberapa variabel dengan melakukan analisa perbandingan berpasangan dari masing-masing variabel. Adapun penilaian pengaruh dari masing masing variabel yang dibandingkan menggunakan matrik perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dan berdasarkan penilaian dari data lapangan (statistik) atau dari penelitian beberapa ahli. Penilaian ahli (*expert judgement*) ini diuji konsistensinya. Bila nilai konsistensi $< 0,1$ maka penilaian ahli diterima begitu pula sebaliknya bila nilai konsistensi $> 0,1$ maka perlu dilakukan penilaian ulang.

Sintesis dari prioritas; Metode yang sama dilakukan pada tingkatan hierarki selanjutnya, atau pada pilihan-pilihan alternatif. Pengambilan/penetapan keputusan; Kesimpulan dilakukan dengan mengakumulasi bobot atau nilai global yang merupakan nilai sensitivitas dari masing-masing variabel atau variabel.

2.3.2 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Terdiri dari komponen yang berupa piranti keras, piranti lunak, dan data geografis serta sumberdaya manusia yang bekerjasama secara efisien dan efektif untuk menangkap, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisis, serta menampilkan data berupa suatu informasi berbasis geografis (ESRI,1990).

SIG adalah sebuah sistem (berbasis komputer) untuk pengolahan, penyimpanan, pemrosesan, penganalisis serta penayangan (*display*) data yang ada kaitannya dengan permukaan bumi. Arronoff (1989), Sistem berbasis komputer dan memiliki kemampuan dalam menangani data yang bereferensi geografi berupa pemasukan data, manajemen data (penyimpanan serta pemanggilan kembali), memanipulasi dan menganalisis data, serta hasil akhir *output* sebagai keluaran. Sistem berbasis komputer ini digunakan untuk memasukkan (input), menyimpan, mengolah, menganalisis serta mengaktifkan kembali data yang memiliki referensi keruangan untuk berbagai maksud dan tujuan serta berkaitan dengan pemetaan dan perencanaan (Burrough,1986).

Barus dan Wiradisastra (2000), Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sebuah sistem informasi yang dirancang agar bisa bekerja dengan data yang memiliki referensi spasial atau berkoordinat geografis, istilahnya dalam kata lain

SIG adalah sebuah sistem berbasis data memiliki kemampuan unik untuk

menangani data yang memiliki referensi keruangan (spasial) dengan seperangkat operasi kerja yang bekerja secara bersamaan.

Sistem informasi geografis mempunyai enam komponen utama (Kartasasmita, 2000), yaitu: (1) Subsistem manajemen; berkaitan dengan fungsi-fungsi manajemen dari sistem yang penting untuk kesuksesan sistem; (2) Subsistem perolehan data; berkaitan dengan perolehan semua item data yang diperlukan untuk analisis masalah, metode pengidentifikasian dan penjelasan data, dan metode evaluasi data; (3) Subsistem penyimpanan dan pemasukan data; berkaitan dengan operasi-operasi teknis untuk mengkonversi data sumber menjadi bentuk digital, termasuk *encoding* data spasial dan tekstual, reduksi data dan konstruksi *file*; (4) Subsistem analisis dan perolehan data kembali; terdiri dari operasi-operasi pengekstrakan data dari penyimpanan dan pelaksanaan operasi-operasi analitis yang diperlukan untuk memadukan masalah-masalah perolehan kembali, pengukuran, perbandingan data (*overlay* dan *union*), analisis statistik data spasial dan prosedur-prosedur analitis; (5) Subsistem *output* informasi; (6) Subsistem penggunaan informasi, interface antara pemakai dan sistem secara keseluruhan.

SIG merupakan sistem manajemen yang dapat: (1) mengumpulkan, menyimpan dan memanggil kembali informasi dari suatu lokasi spasial, (2) mengidentifikasi lokasi dalam lingkungan sasaran yang bertemu dengan kriteria spesifik, (3) menyelidiki hubungan diantara set data dalam lingkungan tersebut, (4) memudahkan memilih dan meneruskan data untuk model analisis aplikasi spesifik, kemampuan menaksir alternatif tindakan pada lingkungan terpilih (Öztürk, Copty & Saysel, 2013).

Jaya (2002) menyatakan bahwa analisis spasial yang juga disebut dengan permodelan adalah suatu proses untuk mendapatkan atau mengekstraksi dan membentuk informasi baru dari data (*feature*) geografis. Analisis spasial mencakup proses permodelan, pengujian model dan interpretasi hasil model. Analisis spasial sangat bermanfaat untuk prediksi suatu kejadian melalui proses simulasi data geografis.

Karakteristik utama Sistem Informasi Geografis adalah kemampuan sistem menganalisis seperti *overlay* dan analisa statistik yang disebut analisis spasial.

Analisis dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis yang sering digunakan dengan istilah analisis spasial, bukan seperti sistem informasi lain yaitu dengan menambahkan dimensi geografis atau ruang (*space*). Kombinasi ini menggambarkan *attribut-attribut* dari bermacam informasi seperti tipe jalan, umur seseorang, dan lainnya, yang secara bersama dengan data seperti dimana tempat tinggal seseorang atau lokasi suatu jalan. Analisis data spasial adalah sekumpulan teknik buat menganalisis data spasial yang hasilnya akan sangat bergantung terhadap lokasi obyek yang akan dianalisis, dan membutuhkan akses terhadap lokasi obyek ataupun atribut-attributnya. Tipe dasar dari sebuah analisis spasial adalah *overlay*. *Overlay* merupakan analisis spasial esensial yang menggabungkan dua *layer* atau tematik yang menjadi masukannya. Teknis mengenai analisis ini terbagi ke dalam format datanya, yaitu raster dan vektor.

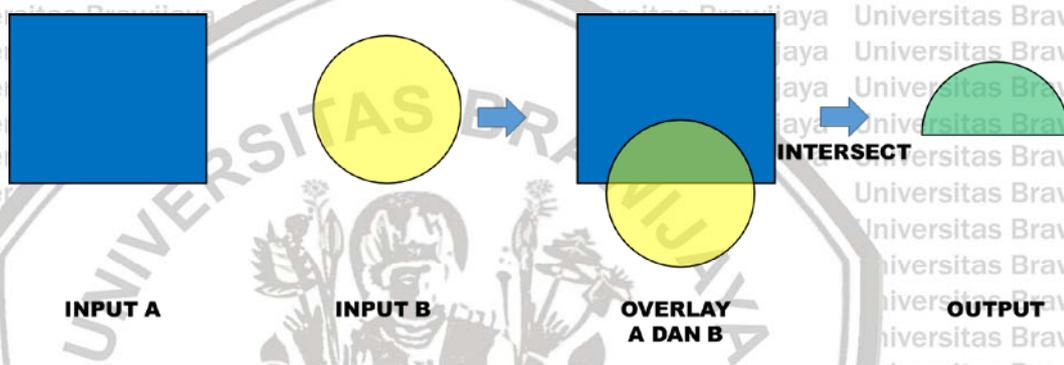
Pada data raster, fungsi analisis spasial *overlay* diwujudkan dalam pemberlakuan beberapa operator aritmatika dari dua masukan citra digital untuk menghasilkan sebuah citra digital lainnya. Dengan demikian, nilai-nilai piksel citra akan dikombinasikan dengan memakai operator aritmatika dan bilangan biner agar

menghasilkan nilai-nilai piksel baru. Pada format vektor, *overlay* berkaitan dengan pembagian nilai atribut ketika geometri digabungkan.

Analisis spasial dilakukan dengan cara meng-*overlay* dua buah peta yang akan menghasilkan sebuah peta baru hasil analisis. Prosedur *overlay* peta adalah proses menumpangsusunkan dua buah peta tematik dengan wilayah yang sama dan hasilnya adalah untuk membentuk *layer* sebuah peta baru. Kemampuan untuk menggabungkan data dari dua informasi menggunakan peta merupakan prinsip dari fungsi-fungsi analisis Sistem Informasi Geografis. Operasi *overlay*, seperti *Intersect*, *clip*, dan *union* dapat menghasilkan geometri yang berbeda dalam *output*, tetapi kepentingan utama *overlay* adalah bahwa atribut digabungkan dari *input*. *Overlay* tidak hanya sebuah operasi yang menggabungkan atau *split* fitur geometri berdasarkan hubungan spasial fitur, tetapi kekuatan sebenarnya dari *overlay* adalah kenyataan bahwa atribut digabungkan saat fitur berpotongan dan dipertahankan dalam tabel atribut *output*. Proses *overlay* digunakan sebagai peramu berbagai indikator yang berasal dari peta-peta tematik hingga menjadi satu peta analisis. Peta analisis ini pada akhirnya digunakan sebagai dasar penarikan kesimpulan untuk kasus yang sedang diteliti. Adapun beberapa operasi *overlay* pada penelitian ini: *intersect*, *identity*, *clip*, dan *union*.

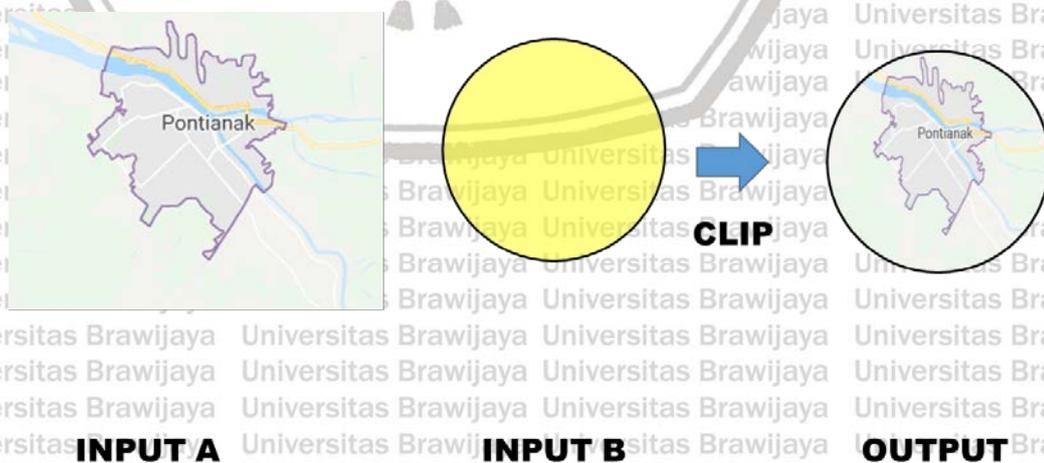
Intersect, adalah operasi *overlay* yang menggabungkan fitur yang berpotongan (titik, garis, atau poligon) dan hanya fitur yang saling tumpang tindih yang digabungkan dan direkam dalam *output*. Fungsi analisis spasial ini akan menghasilkan sebuah unsur spasial baru yang dapat berupa irisan dari masing-masing unsur spasial masukannya. *Theme* hasil operasi *Intersect Tool* merupakan irisan kedua *theme* yang menjadi masukannya dengan *theme overlay* sebagai batas irisannya. Informasi yang terdapat di dalam kedua tabel *attribut*

theme yang menjadi masukannya juga akan terekam dalam tabel atribut hasil operasi ini. *Input feature* pada *tool* ini harus berupa fitur yang sederhana (titik, garis, atau poligon). Jika input memiliki geometri yang berbeda dengan fitur perpotongannya (misalnya garis dengan poligon, atau poligon dengan titik), maka tipe geometri *output feature class* akan sama dengan tipe geometri dimensi terkecil dari *input feature*. Nilai atribut dari kelas fitur *input feature class* akan disalin ke kelas *output feature class*.



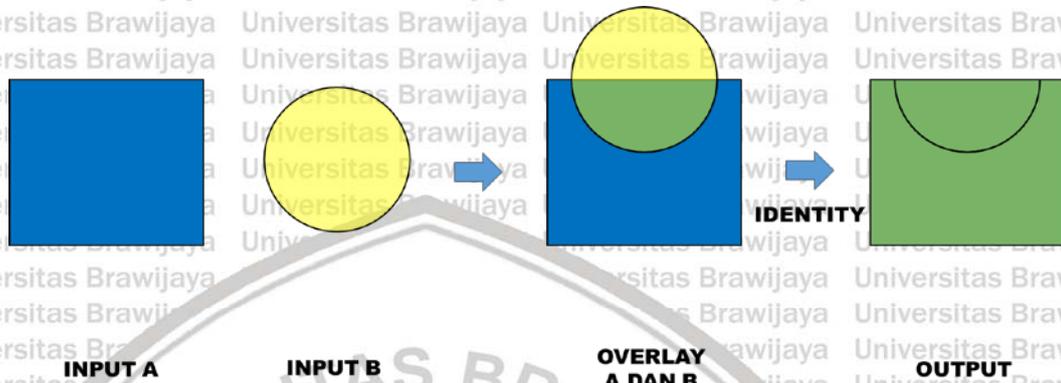
Gambar 2.3. Operasi *overlay intersect*

Clip, digunakan untuk memotong poligon sesuai dengan bentuk dari poligon yang lainnya. Hasil *feature* yang terbentuk sebagai *output* adalah *feature* yang bertindihan antara *input* dengan *clip feature*.



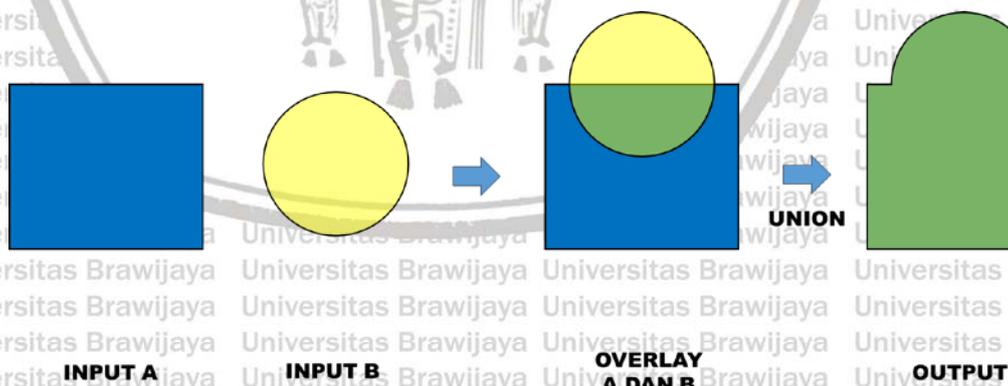
Gambar 2.4. Operasi *clip (extract)*

Identity, digunakan untuk membuat *feature* baru dalam bentuk yang sama dengan *feature input*, tetapi dengan *attribute* baru dari hasil tumpang-susun sehingga terbentuk batas baru.



Gambar 2.5. Operasi *overlay identity*

Union, adalah menggabungkan dua buah *feature* atau lebih. Hanya bisa digunakan untuk *feature* poligon. Batas-batas antar poligon dalam *feature output* akan tetap dipertahankan sesuai dengan *feature inputnya*. Hasil dari *union* berupa kombinasi antara *layer 1* dan *layer 2* dengan atribut yang berasal dari *layer 1* dan *layer 2*.



Gambar 2.6. Operasi *overlay union*

2.3.3 Peta

Peta merupakan gambaran permukaan bumi pada sebuah bidang datar menggunakan skala tertentu melalui sebuah sistem proyeksi. Peta bisa ditampilkan dalam berbagai cara, baik dari peta konvensional yang dicetak sampai peta digital yang dapat ditampilkan di layar komputer. Kata peta (*map*) diambil dari bahasa Yunani *mappa*, mengandung arti kain penutup meja atau taplak. Peta merupakan gambar dari sebagian permukaan ataupun keseluruhan permukaan bumi menggunakan perbandingan tertentu. Gambaran peta tak ubahnya seperti gambar denah. Namun peta menggambarkan wilayah yang lebih luas, dan dalam membuat peta harus dibuat dengan perbandingan tertentu. Sebuah peta merupakan representasi dua dimensi dari sebuah ruang tiga dimensi (3D). Ilmu yang mempelajari tata cara pembuatan peta disebut kartografi. Pada peta yang mempunyai skala, besar obyek pada peta ditentukan seberapa besarnya sesuai dengan perbandingan dengan keadaan yang nyatanya.

Berikut ini beberapa pengertian “peta” menurut para ahli perpetaan. Menurut *Rainsz* (1948), “peta” merupakan gambaran konvensional dari penampakan permukaan bumi yang kemudian diperkecil penampakannya seperti kalau dilihat secara vertikal dari atas, yang dibuat pada sebuah bidang datar dan ditambah keterangan penjelas berupa tulisan.

Bakosurtanal/Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (2005), peta adalah wahana untuk penyimpanan dan penyajian data keadaan lingkungan, yang merupakan sumber informasi untuk para perencana dan para pengambil keputusan pada tahapan perencanaan dan pada tingkatan pembangunan.

ICA (International Cartographic Association), mendefinisikan “peta” sebagai gambaran atau representasi dari elemen-elemen ketampakan abstrak yang

dipilih dari bagian permukaan bumi yang memiliki keterkaitan dengan permukaan bumi atau benda-benda ruang angkasa, pada umumnya sering digambarkan pada sebuah bidang datar dan diperkecil/diskalakan. "Peta" juga merupakan gambaran permukaan bumi dengan menggunakan skala tertentu, digambar pada sebuah bidang datar melalui sistem proyeksi tertentu (Prihandito, 1998).

Jenis peta berdasarkan keadaan obyek adalah (1) Peta dinamik, yaitu sebuah peta yang menggambarkan kondisi labil atau meningkat. Contohnya, peta urbanisasi atau peta transmigrasi, peta aliran sungai, atau peta pertambangan. (2) Peta stasioner, yaitu sebuah peta yang menggambarkan kondisi stabil atau tetap. Contohnya, peta wilayah, peta geologi, atau peta tanah.

Berdasarkan jenis data yang disajikan dikenal dua jenis peta (1) Peta dasar/peta umum, adalah peta yang akan digunakan sebagai dasar bagi pembuatan peta berikutnya. Peta ini berupa peta topografi yang menggambarkan seluruh keadaan bentuk muka bumi (bentang alam); (2) Peta tematik, adalah peta yang menggambarkan suatu ketampakan tertentu di permukaan bumi ini secara khusus berdasarkan tema tertentu. Jenis peta berdasarkan fungsi atau kepentingan, peta dapat dibedakan menjadi: Peta geografi dan topografi, Peta geologik, hidrologi, dan hidrografi, Peta lalu lintas dan komunikasi, Peta yang berkaitan dengan kebudayaan dan sejarah, Peta lokasi dan persebaran hewan dan tumbuhan, Peta cuaca dan iklim, Peta ekonomi dan statistic, Peta Kerawanan Banjir, Peta Risiko Banjir (Abah, 2013; Isma'il & Saanyol, 2013; Behanzin et al., 2015; Rimba et al., 2017).

2.3.4 Aplikasi SIG untuk pemodelan tingkat kerawanan banjir

Berbagai definisi telah diberikan kepada banjir. Ini termasuk aliran tinggi yang tidak normal yang melampaui bank alami atau buatan dari aliran (Nkeki, Henah & Ojeh, 2013) terlalu banyak air di tempat yang salah (Ishaya, 2009), bahaya alami yang terjadi sebagai peristiwa hidrologi yang ekstrem (Smith, 2001) dan debit aliran air yang melebihi daya dukung saluran (Chima, Ogbonna & Ekpenyong, 2010). Secara umum, banjir terjadi di daerah dataran rendah atau datar dengan permukaan yang hidraulik halus atau jenuh (Abbas, 2012). Banjir adalah bahaya lingkungan yang disebabkan oleh faktor alam dan antropogenik (Offiong & Eni, 2007), meskipun secara umum diterima bahwa curah hujan adalah penyebab dominan banjir di seluruh dunia (Abowei & Sikoki, 2005). Efek banjir luas, dan sangat serius di negara-negara berkembang di mana strategi penanganan yang ada adalah ketahanan (Muoghalu & Okonkwo, 2000). Ini termasuk dampak lingkungan dan sosial ekonomi (Monanu, 1975; Durotoye, 2000; Agrawal, 2010; Etuonovbe, 2011; Bariveni, Tawari & Abowei, 2012). Banjir bisa sangat bermanfaat. Sebenarnya, manfaat alam lebih dari banjir alam daripada tidak memilikinya sama sekali. Apa yang membuat banjir alami menjadi bencana adalah ketika air banjir terjadi di daerah yang dihuni oleh manusia dan di daerah yang memiliki perkembangan manusia yang signifikan. Kalau tidak, ketika dibiarkan dalam keadaan alami, manfaat banjir lebih besar daripada dampak buruknya (Bradshaw et al., 2007). Pendekatan utama untuk mitigasi banjir adalah pendekatan struktural. Namun, strategi mitigasi non struktural seperti perencanaan penggunaan lahan, perkiraan dan penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh sangat penting dan mendapatkan perhatian (Faisal, Kabir & Nishat, 2000). Di berbagai negara dunia, GIS dan teknik

penginderaan jauh telah diterapkan dalam penilaian kerentanan dan risiko banjir.

Kemajuan dalam RS dan GIS dan aplikasi komputer sangat berguna dalam pengelolaan banjir terutama dalam pemetaan daerah risiko banjir (Opolot, 2013).

Dalam beberapa waktu terakhir, penilaian kerentanan telah dilakukan dengan menggunakan GIS dan penginderaan jauh di samping survei sosial ekonomi

(Cutter, Mitchell & Scott, 2001). Kerentanan memiliki dimensi lingkungan dan sosial ekonomi (Füssel, 2007; Alcantara-Ayala, 2002) menyiratkan tanggung

jawab untuk menderita kerugian dan meningkat dengan penurunan kemampuan

untuk mengatasi, melawan, dan pulih dari atau beradaptasi dengan faktor stres

yang dipaksakan seperti bencana banjir (Samarasinghea et al., 2010; Cutter,

1996). Banjir adalah salah satu masalah lingkungan paling serius di negara

bagian Anambra, juga merupakan salah satu bahaya lingkungan yang paling

menghancurkan di negara bagian ini, merenggut lebih banyak nyawa dan

menyebabkan kerusakan pada properti dan infrastruktur lebih dari fenomena alam

lainnya (Nwilo, 2013). Ini terutama terjadi karena lebih dari 30 persen penduduk

daerah tersebut hidup dalam komunitas sungai termasuk wilayah studi (Onwuka,

Ikekpeazu & Onuoha, 2015). Misalnya, banjir tahun 2012 membanjiri lebih dari

70% wilayah studi, membuat penduduk menjadi pengungsi dan merampas sumber

penghidupan mereka. Masalah-masalah lain yang diakibatkan oleh banjir di

daerah tersebut adalah perpindahan penduduk secara paksa, perusakan properti

rumah tangga, perusakan produk pertanian yang mengancam ketahanan pangan,

menyebabkan kelaparan pada para korban, kepadatan yang berlebihan,

penyebaran penyakit menular dan penyakit yang terbawa air, tingkat kejahatan

dan konflik meningkat ketika orang menggunakan berbagai sifat sosial untuk

bertahan hidup. Penelitian ini bertujuan untuk menilai topografi area untuk

mengevaluasi kontribusinya terhadap banjir di wilayah studi. Beberapa studi tentang penilaian spasial kerentanan banjir telah dilakukan di Nigeria termasuk (Offiong & Eni, 2007; Njoku, Amangabara & Duru, 2013). Studi serupa di daerah tersebut baru-baru ini tentang penilaian banjir 2012 dilakukan oleh Emmanuel et al. (2015) pada analisis bahaya banjir dan penilaian kerusakan banjir 2012 di Negara Bagian Anambra Menggunakan GIS dan Penginderaan Jauh dan oleh Onwuka, Ikepeazu & Onuoha (2015). Pada penilaian dampak lingkungan tahun 2012 banjir di Umuleri, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk penilaian spasial daerah yang rentan terhadap banjir di Anambra Timur, menggunakan GIS dan teknik penginderaan jauh. Ini akan membantu membimbing perencanaan penggunaan lahan, pembuat kebijakan umum lingkungan dan manajemen bencana dan pemangku kepentingan di wilayah studi dalam menciptakan kesadaran dan meningkatkan tingkat kesiapan mereka.

Biasanya bahaya banjir terjadi di daerah dengan ketinggian rendah. Ini karena limpasan terjadi dari daerah dengan ketinggian lebih tinggi ke daerah dengan ketinggian lebih rendah. Suatu analisis pada dasarnya menekankan pengaruh kuat topografi wilayah studi terhadap kerentanan banjir. Meskipun faktor-faktor lain, terutama perencanaan penggunaan lahan yang tidak efektif dan kelembaman di antara penduduk mungkin memainkan peran kunci. Banjir sungai dan saluran drainase setelah hujan deras adalah bentuk banjir yang paling umum di wilayah studi. Banjir di wilayah studi biasanya mencakup ruang yang luas dan dapat berlangsung selama berminggu-minggu atau bahkan berbulan-bulan. Temuan penelitian ini setuju dengan banyak dari yang lain termasuk (Ogbonna, Ike & Okwu-Delunzu, 2015; Njoku, Amangabara, & Duru, 2013). Oleh karena itu sangat

penting bahwa daerah dengan ketinggian lebih rendah harus diberi pertimbangan khusus dalam perencanaan penggunaan lahan.

Banjir adalah masalah lingkungan utama dalam penelitian ini, yang menyebabkan hilangnya nyawa dan harta benda. Meskipun pertimbangan topografi dan curah hujan dapat dianggap sebagai penyebab alami utama, tipe penggunaan lahan juga merupakan faktor penting yang menyebabkan banjir di daerah tersebut, karena sebagian besar lahan digunakan untuk tujuan pertanian.

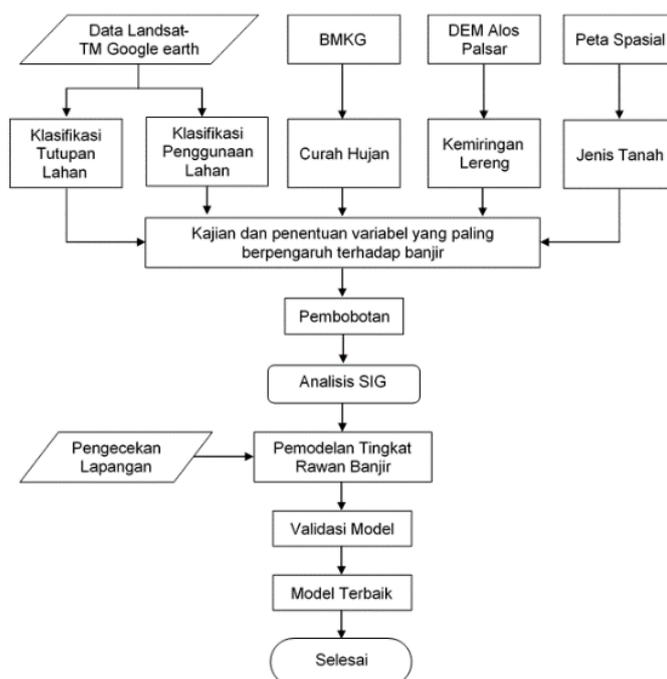
Penerapan SIG dan RS (penginderaan jauh) dalam penilaian spasial kerentanan banjir merupakan strategi mitigasi non struktural yang sangat penting untuk banjir.

Ini karena akan membantu meningkatkan tingkat kesiapsiagaan serta memandu kebijakan dan intervensi dalam hal ini. Area studi membutuhkan pemetaan dan perencanaan penggunaan lahan yang tepat untuk mengurangi ancaman banjir (Ugoyibo, Enyinnaya & Souleman, 2017). Pembangunan sistem drainase yang baik dengan daya dukung yang memadai harus didorong. Hal ini juga perlu untuk mencegah penduduk di mana mungkin dari menduduki daerah rawan banjir, terutama, jika struktur tahan banjir dan sistem peringatan tidak tersedia.

Aplikasi SIG dalam berbagai bidang sampai sejauh ini semakin berkembang dan maju. Prahasta (2015) menjelaskan ada beberapa hal yang menjadi penyebab bahwa aplikasi dan konsep SIG sangat menarik untuk dipakai dalam berbagai bidang ilmu yaitu karena keefektifan dari SIG, dapat dipakai sebagai alat bantu, dapat menguraikan elemen-elemen yang terdapat di permukaan bumi menjadi berbentuk *coverage data* spasial atau beberapa *layer*, memiliki kemampuan yang sangat baik untuk menampilkan data spasial beserta bentuk atribut-atributnya dan dapat menurunkan data-data secara langsung tanpa keharusan melakukan interpretasi secara manual.

SIG merupakan alat yang cocok untuk memetakan distribusi data spasial dari bahaya banjir. Kajian spasial kawasan bencana banjir sangat diperlukan sebagai basis data upaya mitigasi banjir. Menurut Plate (2002) tahapan pertama dalam manajemen risiko banjir yaitu pemetaan bahaya banjir. SIG dapat juga memadukan secara spasial beberapa variabel penyebab banjir, seperti vegetasi, topografi dan sejarah kejadian banjir. Chuevieco et al. (1999) menyebutkan variabel spasial yang secara luas digunakan untuk membangun model kerawanan banjir, yaitu: (a) topografi, elevasi, *slope*, aspek dan iluminasi; (b) vegetasi, tutupan lahan; (c) faktor cuaca, suhu, kelembaban relatif, angin, dan presipitasi; (d) aksesibilitas terhadap jalan dan infrastruktur lain; (e) tipe kepemilikan lahan atau tipe penggunaan lahan; (f) jarak dari kota atau permukiman; (g) tanah dan bahan bawah tanah; (h) sejarah kejadian banjir atau catatan peristiwa banjir (Siriwardena et al., 2006; Nie et al., 2011; Tirupathi, Shashidhar & Srinivasan, 2018; Wang et al., 2018).

Penggunaan teknologi SIG dalam masalah kebencanaan paling sering adalah untuk memetakan wilayah-wilayah rawan dan memiliki risiko bencana, peta rencana kontingensi, peta jalur evakuasi. Aplikasi SIG untuk pembuatan model tingkat kerawanan banjir merupakan salah satu usaha untuk mencegah dan mengurangi dampak atau mitigasi dari bencana banjir yaitu dengan menyediakan informasi kawasan rawan banjir yang ditampilkan dalam bentuk peta digital. Metode SIG merupakan sebuah metode yang tepat guna untuk memetakan kawasan rawan banjir dengan cakupan wilayah yang luas dalam waktu relatif singkat, serta akurasi dan presisi yang baik pada beragam kondisi fisik DAS dan tutupan lahan (Price, 2011; Price et al., 2011; Quyen, Liem & Loi, 2014).



Gambar 2.7. Tahapan pembuatan pemodelan kerawanan banjir

Banjir diperkirakan akan terjadi secara lebih ketat dan teratur di masa depan karena perubahan iklim, urbanisasi cepat yang tidak terencana, perubahan pola penggunaan lahan, pengelolaan daerah aliran sungai yang buruk, dan penurunan resapan air tanah dengan perluasan permukaan yang tidak tembus air di daerah perkotaan. Ini berarti bahwa banyak daerah perkotaan di seluruh dunia cenderung berada di bawah ancaman banjir yang serius, yang dampak buruknya sudah diyakini hanya di sebelah gempa bumi. Mengelola banjir dengan tujuan keselamatan dan kesejahteraan masyarakat dan penyelamatan lingkungannya adalah salah satu tanggung jawab utama pemerintah di daerah rawan banjir. Untuk mencapai tujuan ini, pengurangan kerentanan dan peningkatan ketahanan menjadi pendekatan yang signifikan. Salah satu langkah utama dalam proses ini adalah mengukur kerentanan untuk mengidentifikasi daerah rentan (Takemoto, 2011) dan mengadopsi langkah-langkah efektif. Mengamati kerentanan banjir perkotaan bervariasi dari waktu ke waktu dan di berbagai tempat karena kondisi

lingkungan, aktivitas manusia, dan budaya masyarakat dalam menghadapi ancaman (Ahmad & Simonovic, 2013). Meningkatkan metode penilaian dan meningkatkan pemahaman kita tentang kerentanan risiko banjir dapat mendukung pengambil keputusan dalam mengurangi kerusakan dan kematian. Berbagai metode penilaian kerentanan banjir telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir. Para ahli telah mengembangkan empat kelompok metode yang telah lazim digunakan untuk menilai kerentanan banjir.

Dalam kebanyakan kasus, istilah risiko telah didefinisikan dalam kaitannya dengan tujuan ilmu yang berbeda di mana metode manajemen bencana diperlukan. Meskipun banyak definisi dalam literatur, konsep risiko berkenaan dengan "bahaya" dan "kerentanan" tampaknya menjadi yang paling diterima dalam manajemen risiko banjir sehingga penting untuk mengetahui bahwa "risiko" sepenuhnya subyek manusia. Ini berarti banjir adalah bagian dari siklus hidrologis, tetapi karena perselisihan fungsi alami dari dataran banjir sungai dalam air transportasi dan sedimen sebagai akibat dari penggunaan lahan manusia, risikonya meningkat (Schanze, 2006). Dalam mempelajari risiko banjir, penting untuk mengklasifikasikan banjir ke: (a) banjir pantai yang dapat terjadi di pantai dan di sepanjang tepi danau besar; (b) banjir sungai yang terjadi secara musiman ketika hujan musim semi mengisi basin sungai terlalu cepat, dan sungai akan meluap jalurnya; (c) banjir bandang adalah banjir jangka pendek di wilayah kecil seperti bagian kota yang paling banyak membunuh dan merusak (Balica, 2007).

Tujuan utama manajemen risiko banjir adalah mengurangi kerugian manusia dan biaya ekonomi ke tingkat yang dapat diterima. Tidak mungkin untuk menghindari risiko banjir sepenuhnya, sehingga perlu untuk mengelolanya. Dengan kata lain, manajemen banjir tidak berupaya untuk menghilangkan risiko banjir tetapi

tujuannya adalah meredakannya. Menghindari, mengurangi atau menggeser dampak banjir melalui proses mitigasi dan adaptasi adalah tujuan utama manajemen risiko banjir (UNISDR, 2009).

Kerentanan adalah konstruk utama dalam manajemen risiko banjir. Salah satu tujuan paling penting dari penilaian kerentanan banjir adalah untuk membuat hubungan yang jelas antara konsep teoritis kerentanan banjir dan proses administrasi sehari-hari. Berbagai pendekatan telah diperkenalkan untuk menilai kerentanan karena itu pemilihan metodologi yang lebih tepat sangat penting bagi pihak berwenang. Metode penilaian yang lebih diterima dapat dikategorikan dalam empat kelompok: metode kurva, metode data bencana, metode pemodelan komputer dan metode berbasis indikator (Nasiri, Yusof, & Ali, 2016). Metode-metode ini adalah penelitian ini untuk meninjau metode-metode ini dan membandingkan manfaat dan kelemahannya. Disimpulkan bahwa pendekatan berbasis indikator memberikan visi yang lebih tepat tentang kerentanan banjir secara keseluruhan di masing-masing daerah daripada pendekatan lain.

Kerentanan banjir adalah salah satu komponen penting dalam manajemen risiko dan penilaian kerusakan banjir. Karena kerentanan ditemukan menjadi alasan utama terjadinya bencana, tampaknya perlu untuk mengembangkan persepsi kita tentang kerentanan (Klein, 2004). Penelitian dengan subyek kerentanan melibatkan deskripsi beragam untuk kerentanan; dalam deskripsi PBB, kerentanan adalah tingkat kerusakan pada obyek tertentu yang berisiko banjir dengan jumlah yang ditentukan dan hadir dalam skala dari 0 hingga 1 (tidak ada kerusakan hingga kerusakan penuh) (UN, 1982).

Panel Internasional Perubahan Iklim (IPCC) menggambarkan kerentanan sebagai tingkat ketidak-mampuan mengelola dampak perubahan iklim dan

kenaikan permukaan laut (IPCC, 1992). Begitu banyak definisi kerentanan muncul dalam literatur. Beberapa definisi kerentanan yang lazim digunakan oleh para peneliti adalah:

1. United Nations (1982): Kerentanan adalah tingkat kerusakan pada obyek tertentu yang berisiko banjir dengan jumlah tertentu dan hadir dalam skala dari 0 hingga 1 (tidak ada kerusakan hingga kerusakan penuh);
2. Cannon (1994): Kondisi masyarakat dan perilaku sosial, politik dan ekonomi mereka dalam menghadapi risiko memberikan tingkat yang berbeda kerentanannya ;
3. Menoni & Pergalani (1996): Istilah kerentanan adalah kerusakan barang, orang, bangunan, infrastruktur dan kegiatan dalam kondisi bahaya;
4. Mileti (1999): Tingkat kemampuan untuk bertahan atau pulih dari dampak bahaya selama ini;
5. Alexander (2002): Kerentanan orang-orang dan benda-benda terhadap kerugian dikaitkan dengan sejumlah bahaya dan probabilitas tertentu yang akan terlihat dalam kondisi khusus dan dengan tingkat tertentu;
6. UNDP (2004): Kerentanan adalah suatu kondisi yang dipengaruhi oleh faktor fisik, sosial, ekonomi dan lingkungan yang meningkatkan kerentanan orang terhadap dampak bahaya;
7. Wisner (2004): Karakteristik individu atau kelompok orang dan kondisi mereka yang mempengaruhi kemampuannya untuk memprediksi, menangani, berjuang, dan memulihkan diri dari efek ancaman lingkungan;

8. Adger (2006): Kerentanan terhadap bahaya dari paparan tekanan yang terkait dengan perubahan lingkungan dan sosial, dan dalam hal keterbatasan kemampuan adaptasi;
9. Næss (2006): Fungsi pemaparan, sensitivitas, dan kapasitas adaptif, yang dihasilkan oleh berbagai faktor dan proses;
10. Borden et al. (2007): Kerentanan berbeda berarti potensi atau sensitivitas terhadap kerugian atau bahaya. Kerentanan sosial mengandung kerentanan masyarakat atau kelompok sosial terhadap potensi kerugian dari bahaya;
11. Balica & Wright (2010): Kerentanan didefinisikan dengan interaksi antara paparan, kerentanan dan ketahanan setiap komunitas dalam kondisi risiko.

Berdasarkan hasil-hasil studi para peneliti sebelumnya, kerangka kerja untuk analisis kerentanan memberikan perhatian yang jelas terhadap ruang, waktu, skala, dan konteks yang diterapkan pada penilaian kerentanan banjir (Turner, 2003).

Kerentanan banjir menjadi salah satu komponen penting dalam manajemen risiko dan penilaian kerusakan banjir (Connor & Hiroki, 2005). Ada beberapa metode yang dikembangkan oleh Peneliti untuk mengevaluasi kerentanan banjir. Namun demikian, ancaman banjir masih sangat lazim meskipun peningkatan kesadaran tentang kerentanan Birkmann (2007). Hal ini meningkatkan keraguan tentang efektivitas metode evaluasi kerentanan dan pengaruhnya terhadap mitigasi dan adaptasi banjir (Khan, 2012). Pengukuran kerentanan adalah proses yang kompleks karena dipengaruhi oleh beberapa elemen lingkungan, ekonomi, dan sosial atau bahkan politik dalam skala lokal (Jixi-Gao, 2007). Dengan kata

lain kerentanan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kondisi pemukiman, infrastruktur, kebijakan dan kapasitas otoritas, ketidakadilan sosial, pola ekonomi, dll. Jadi kerentanan banjir bervariasi untuk orang-orang dalam keadaan yang beragam (Pandey et al., 2010). Sistem manusia rentan terhadap banjir karena tiga aspek penting: Eksposur, kerentanan dan ketahanan. Eksposur mengacu pada orang-orang dan lingkungannya dan setiap elemen yang ada di daerah rawan banjir yang terkena dampak banjir sebagai subyek dari potensi kerugian (UNISDR, 2009). Kerentanan yang Cardona et al. (2012) nyatakan adalah kecenderungan orang, lingkungan dan infrastruktur untuk dipengaruhi oleh bahaya karena kerapuhan masyarakat atau ekosistem dan Pelling et al. (2004) mendefinisikan ketahanan, koping dan kemampuan adaptasi suatu sistem dalam mengatasi tekanan bencana. Instans kerentanan kota adalah cerminan dari paparan dan kerentanan kota terhadap risiko banjir dan ketahanan wilayah itu untuk mengatasi dan pulih dari dampak banjir (Smit, 2006).

Ada berbagai metode penilaian kerentanan yang berbeda dalam deskripsi kerentanan mereka, kerangka kerja teoritis, variabel dan metodologi. Menurut karya sebelumnya metode penilaian kerentanan dapat dikategorikan dalam empat kelompok berbeda yang dipertimbangkan dalam makalah ini (Dapeng-Huang, 2012):

Metode Indikator Kerentanan (MIK) yang telah disesuaikan untuk dapat menggunakan data yang tersedia untuk memberikan gambaran logis tentang kerentanan suatu tempat. Metode ini banyak digunakan dalam studi kerentanan banjir dan disukai oleh pembuat kebijakan karena gambaran kerentanannya yang diperjelas atas ruang, penggambaran yang bertujuan untuk mengukur prioritas dan merencanakan respons risiko di wilayah tertentu. Kelompok metode ini tergantung

pada indeks rumit dengan dan tanpa pembobotan, namun, metode ini juga dihadapkan pada kompleksitas yang cukup besar terkait dengan standardisasi, pembobotan, dan agregasi (Barroca et al., 2006; Müller, Reiter & Weiland, 2011; Kappes, Papathoma-Köhle & Keiler, 2012).

Ketidakpastian adalah satu lagi perjuangan dengan metode ini. Karena setiap lapisan tambahan termasuk variabel yang beragam, perjuangan tentang variabel saling ketergantungan harus diperbaiki. Solusi yang diusulkan terbaik untuk masalah ini adalah pembobotan variabel untuk mengurangi dampaknya dalam membentuk ekspresi akhir (Lein, 2010). Kelemahan lain dari model adalah kesulitan-kesulitan yang dikuantifikasi oleh sejumlah indikator sosial terhadap perhitungan (Khan, 2012). Salam kepada (Fussel, 2010) ada dua pendekatan berbasis teori (deduktif) dan berbasis data (induktif) untuk pemilihan indikator dalam metode ini. Sedangkan sikap ini berbeda dalam metodologi, bersama-sama mereka membuat persepsi yang lebih baik tentang kerentanan lokal. Pendekatan deduktif dibangun di atas kerangka teoritis untuk memilih indikator yang tepat dan mempertimbangkan hubungan mereka sementara pendekatan induktif memilih indikator berkaitan dengan hubungan statistik dengan konsekuensi kerentanan yang diamati (misalnya korban kematian akibat banjir). Karena tidak ada definisi yang jelas dalam konsekuensi kerentanan untuk pengembangan indeks agregat, pendekatan berbasis data hanya berguna untuk sistem paparan banjir tertentu. Bahkan pengembangan dan pengujian indeks dalam keadaan yang berurusan dengan ketidakstabilan jangka pendek adalah menjadi keterbatasan signifikan dari semua indeks berbasis data (Fussel, 2009).

Metode Kurva Kerentanan. Hubungan antara risiko banjir dan elemen-elemen berisiko dapat dipelajari oleh kerusakan empiris atau kurva kerapuhan.

Pendekatan ini pada dasarnya didasarkan pada data dari studi kasus yang terdokumentasi dengan baik sehingga biasanya terbatas pada hunian di area tertentu. Kelompok metode ini mengambil sampel item di setiap kelas yang dipilih dan daftar mata pelajaran yang mungkin diatur. Data untuk semua sampel dari setiap kelas komponen adalah rata-rata dan kurva *step-damage* dibuat. Kurva kerusakan tahap berikutnya adalah untuk potensi kerusakan, meskipun metode serupa dapat digunakan untuk mengukur kerusakan yang terjadi segera setelah banjir (analisis kerusakan nyata). Metode didasarkan pada survei kerusakan aktual sehingga membutuhkan banyak waktu dan sumberdaya dan keandalan metode ini kurang dari yang lain karena tidak berlaku untuk daerah lain (Nasiri, Yusof, & Ali, 2016; Papathoma-Köhle, 2016; Karagiorgos, et al., 2016).

Metode Data Kerugian-Bencana. Metode ini dibangun berdasarkan pengumpulan data dari bahaya banjir nyata dan penggunaannya seperti direktur ke acara mendatang metode ini adalah pendekatan sederhana tetapi akan sedikit tidak akurat Karena data yang tidak merata dicatat sehingga hasil dari metode ini harus diperlakukan dengan hati-hati.

Metode Pemodelan. Model komputer dapat mengevaluasi kedalaman, ketinggian dan kecepatan banjir dengan menggunakan frekuensi, besarnya dan bentuk hidrograf. Untuk menghitung genangan banjir, satu (1D) atau dua dimensi (2D) model yang didasarkan pada solusi dari bentuk-bentuk lengkap atau perkiraan dari persamaan air permukaan yang lazim. Metode-metode ini bergantung pada data terperinci tentang topografi, hidrografi, dan informasi ekonomi di wilayah studi untuk keakuratannya. Informasi kerugian ekonomi dapat dipahami oleh publik dalam metode ini. Namun demikian karena kurangnya data yang memadai, model mengalami penyimpangan yang signifikan yang dapat

menyebabkan mempertanyakan validitas penilaian dan memadukan pembuat keputusan (Balica, 2013). Dalam pemodelan kerentanan berbasis sistem informasi Geografis (SIG) variabel yang digunakan sebagai data input, variabel tersebut harus direferensikan secara geografis dan dikonversi ke format raster untuk analisis berwujud. Metode pemodelan ini dapat menilai kerentanan dalam skala lokal lebih sensitif daripada yang lain karena mempertimbangkan faktor-faktor lokal tertentu namun tidak dapat menggambarkan hubungan yang jelas antara peta yang diprediksi dan tingkat kerusakan banjir nyata (Lein, 2010).

Penilaian kerentanan berbasis indikator adalah umum, tetapi mereka juga ditantang dengan alasan komplikasi terkait dengan metode standarisasi, pembobotan dan agregasi. Metode berbasis indikator tidak mengukur risiko banjir secara langsung, tetapi berkontribusi untuk mengevaluasi risiko banjir. Kerentanan mencakup berbagai karakteristik risiko seperti sosial, lingkungan fisik dan ekonomi. Kelompok metode ini memberikan evaluasi kerentanan banjir yang lebih luas, cepat, dan dapat dipercaya di wilayah geografis tertentu, tetapi sedikit sulit karena aksesibilitas data yang baik dan jumlah indikator sangat sulit untuk mengukur indikator sosial khusus sehingga keterbatasan utama dalam hal ini Pendekatannya adalah bahwa pengukuran kerentanan harus mencerminkan proses sosial di samping konsekuensi material yang tampaknya rumit dan dengan banyak koneksi yang sulit dijepit. Kerentanan itu, oleh karena itu, tidak mudah menurun ke metrik soliter dan tidak mudah dihitung (Adger, 2006). Di sisi lain, pemodelan berbasis komputer dapat menilai kerentanan dalam skala lokal lebih sensitif daripada yang lain karena mempertimbangkan faktor-faktor lokal tertentu, namun, ia memiliki sedikit validitas dalam situasi kelangkaan data.

2.3.5 Validasi model

Validasi dilakukan untuk mengetahui kesesuaian peta tingkat kerawanan banjir dengan kenyataan di lapangan. Validasi model menggunakan *error matrix* dan Kappa statistik.

Confusion matrix atau *error matrix* digunakan sebagai langkah awal dalam mendiskripsikan perbedaan dan teknik analisis statistik untuk menilai akurasi peta (Atmopawiro 2004). *Error matrix* adalah n x n tabel kelas peta tematik dimana kolom melambangkan referensi data atau hasil *ground truth* dan baris menggambarkan klasifikasi data. Matrik ini digunakan untuk menghitung *overall accuracy* atau *Proportion Correctly Classified* (PCC) dengan membagi total jumlah piksel yang terkoreksi benar (misalnya jumlah diagonal utama) dengan total jumlah piksel dalam matrik (Lillesand & Kiefer, 2000).

Produser dan *user accuracy* dapat dihitung menggunakan masing-masing klas. *Producer accuracy* dihitung dengan membagi jumlah piksel yang terkelaskan dengan benar (pada diagonal utama) dengan jumlah total piksel dalam *training area* yang digunakan dalam kelas yang bersangkutan (misalnya total kolom). Gambaran ini mengindikasikan bagaimana kebaikan dari satu set *training area* pada kelas yang diberikan diklasifikasikan. *Producer accuracy* (%) = jumlah sampel uji akurasi suatu kelas yang terklasifikasi benar dibagi jumlah sampel uji akurasi pada suatu kelas × 100.

$$\text{Producer Accuracy (\%)} = \frac{\text{jumlah kolom sampel uji akurasi suatu kelas terklasifikasi benar}}{\text{jumlah sampel uji akurasi pada suatu kelas}} \times 100 \dots 2.5$$

$$\text{Error Omission (\%)} = 100\% - \text{Producer Accuracy} \dots \dots \dots 2.6$$

User accuracy, juga dihitung dengan membagi jumlah piksel yang dikelaskan dengan benar dalam masing-masing kelas dengan jumlah total piksel yang diklasifikasikan dalam kelas yang bersangkutan (jumlah baris). Gambaran ini

mengindikasikan kemungkinan bahwa sebuah piksel diklasifikasikan ke dalam kelas yang diberikan yang nyata-nyata merepresentasikan kelas sesungguhnya.

Adapun rumus *User accuracy* adalah sebagai berikut:

$$\text{User Accuracy (\%)} = \frac{\text{jumlah baris sampel uji akurasi suatu kelas terklasifikasi benar}}{\text{jumlah sampel uji akurasi pada suatu kelas}} \times 100 \dots\dots\dots 2.7$$

$$\text{Error Comission (\%)} = 100\% - \text{User Accuracy} \dots\dots\dots 2.8$$

$$\text{Overall Accuracy (\%)} = \frac{\text{jumlah sampel terklasifikasi benar}}{\text{jumlah sampel uji akurasi}} \times 100 \dots\dots\dots 2.9$$

Overall accuracy, termasuk *producer* dan *user accuracy*, mendiskripsikan kebenaran peta-peta, tetapi tidak mempertimbangkan peluang kesesuaian peta dengan data referensi. Kappa statistik (*K statistic*) memasukkan peluang ke dalam pertimbangan dan ini merupakan cara yang baik untuk membandingkan dengan peta lain yang dibuat dengan teknik klasifikasi berbeda. Perkiraan Kappa (*K statistic*), dihitung sebagai berikut (Lillesand & Kiefer, 2000):

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \dots\dots\dots 2.10$$

Dengan:

r = jumlah baris dalam *error matrix*

x_{ii} = jumlah pengamatan dalam baris i dan kolom i (pada diagonal utama)

x_{i+} = jumlah baris i

x_{+i} = jumlah kolom i

n = total jumlah pengamatan.

Perbedaan signifikansi akurasi antara dua peta dapat diuji menggunakan uji z .

Statistik uji dihitung dari K dugaan dan dugaan varian K . Sedangkan varian K , $\sigma^2(K)$ dihitung sebagai :

$$\sigma^2(K) = \frac{1}{n} \left[\frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2-\theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4-\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \dots\dots\dots 2.11$$

Dengan:

$$\theta_1 = \sum_{i=1}^r \frac{x_{ii}}{n} \quad \theta_2 = \sum_{i=1}^r \frac{x_{i+*} x_{+i}}{n^2}$$

$$\theta_3 = \sum_{i=1}^r \frac{x_n (x_{i+} + x_{+i})}{n^2} \quad \theta_4 = \sum_{i,j=1}^r \frac{x_{ij} (x_{i+} + x_{+j})^2}{n^3}$$

Tambahan bagi notasi yang diberikan di atas x_{ij} , adalah nilai dalam *error matrix* pada perpotongan baris ke i dan kolom ke j . Uji Z digunakan untuk menguji apakah nilai K untuk dua *error matrix* berbeda secara signifikan pada tingkat kepercayaan (α) . Untuk uji *hypothesis null* dapat dibuat formula (Lillesand & Kiefer, 2000):

$$H_0: K_1 = K_2 \text{ versus } H_1: K_1 \neq K_2 \dots\dots\dots 2.12$$

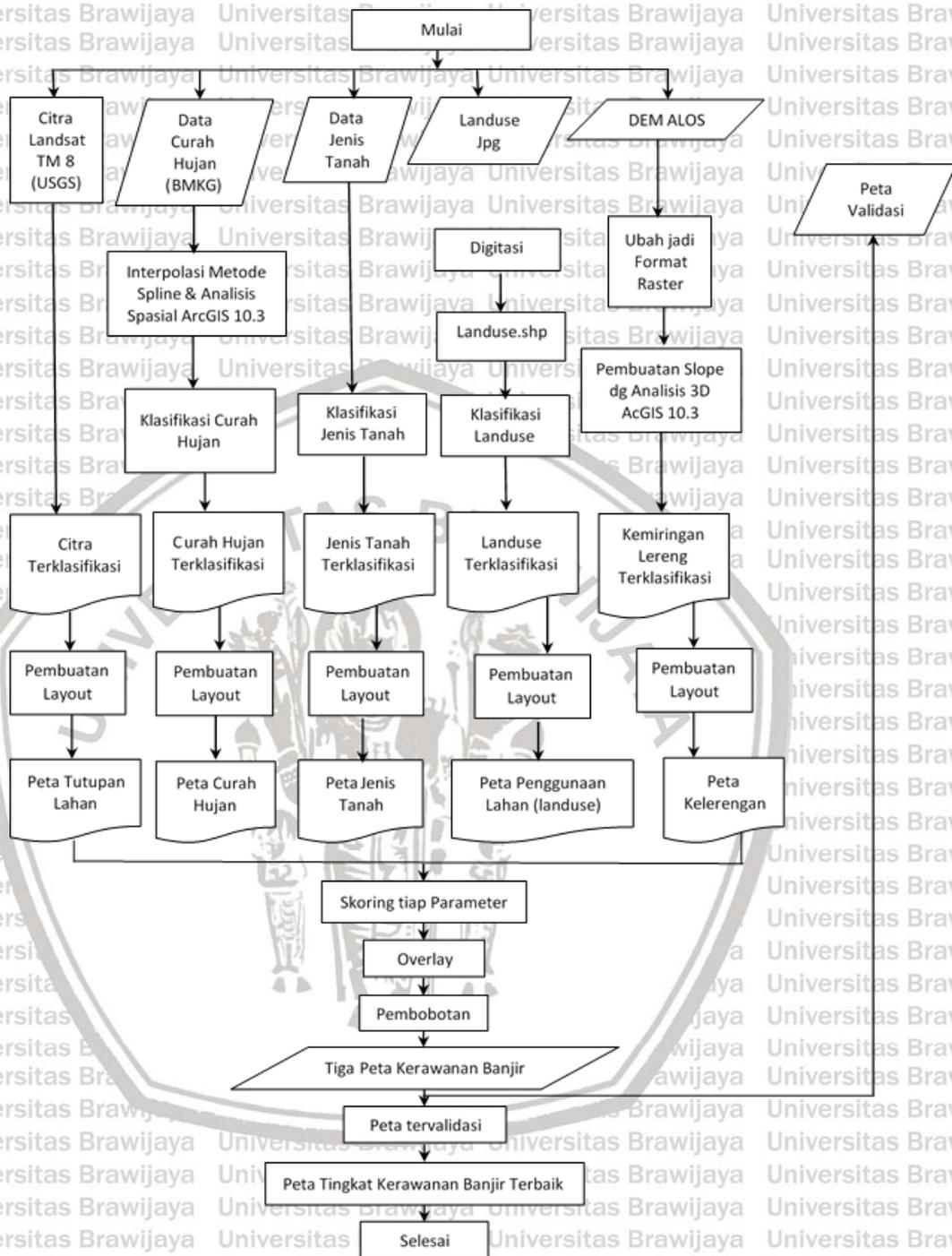
dan uji statistik dihitung dengan formula:

$$Z = \frac{\kappa_1 - \kappa_2}{\sqrt{\sigma(\kappa_1) + \sigma(\kappa_2)}} \dots\dots\dots 2.13$$

Hypothesis null ditolak jika nilai z hitung lebih besar dari nilai tabel tingkat kepercayaan tertentu.

2.4. Kerangka Konsep Penelitian

Kegiatan penelitian ini diawali dengan studi literature, menelaah buku-buku (textbook) dan mereview artikel-artikel jurnal yang berhubungan dengan bencana banjir, teknik SIG dan teknik penginderaan jarak jauh; kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data, baik data digital maupun data dalam bentuk jpg, dan data pendukung lainnya. Setelah semua data lengkap, dilakukan pengolahan data dan pembuatan peta-peta tematik sebagai variabel pembentuk model. Analisis spasial yang dilakukan yaitu dengan menumpang-susunkan (*overlay*) semua peta-peta tematik pembentuk model, dengan pemberian nilai skor terlebih dahulu.



Gambar 2.8. Kerangka konsep penelitian

Pemberian bobot setiap variabel berdasarkan tingkat pengaruh terhadap banjir.

Model kerawanan banjir merupakan jumlah total perkalian bobot dengan nilai skor setiap variabel. Model terbaik memiliki akurasi di atas 80%, dan validasi Kappa

lebih dari 75%. Hasil merupakan peta tingkat kerawanan banjir. Berdasarkan peta tingkat kerawanan banjir tersebut, akan diberikan rekomendasi terbaik kepada pihak terkait sebagai mitigasi bencana banjir. Tahapan penyelesaian penelitian dapat dilihat pada gambar 2.8.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu sebuah penelitian yang menekankan analisisnya berdasarkan pada data-data analog dan digital yang diolah dengan teknologi SIG menggunakan aplikasi ArcGIS. Pada proses pembobotan digunakan pendapat beberapa ahli untuk memberi nilai bobot pengaruh terhadap masing-masing variabel. Hasil pembobotan para ahli tersebut diperiksa konsistensinya menggunakan AHP. Penilaian para pakar yang tidak memenuhi syarat konsistensi dapat dianulir atau ditunda untuk dilakukan perbaikan. Bobot yang diberikan para ahli dan telah memenuhi syarat konsistensi AHP akan diolah menggunakan ArcGIS. Selain menggunakan AHP akan digunakan juga formulasi logis menurut Seyhan (Seyhan, 1990). Hasil akhir berupa informasi spasial berbentuk peta. Peta ini berisi informasi 4 (empat) tingkat kerawanan banjir, yaitu sangat rawan (tinggi genangan >40 cm), rawan (tinggi genangan 26 – 40 cm), kurang aman (tinggi genangan 11 – 25 cm), aman (tinggi genangan 0 – 10 cm).

3.2. Konsep dan Variabel Penelitian

Konsep dari penelitian ini adalah ingin membuat pemodelan tingkat kerawanan banjir Kota Pontianak berbasis SIG sebagai basis data untuk menetapkan pengembangan kota yang aman dari banjir. Ide ini muncul karena kondisi Kota Pontianak yang sering mengalami banjir pada saat musim penghujan, ditunjang lagi dengan kondisi topografi datar, jenis tanahnya aluvial dan gambut serta tutupan dan penggunaan lahan yang

didominasi oleh daerah terbangun sehingga bencana banjir tidak dapat dielakkan. Salah satu cara pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan pemantauan wilayah rawan banjir secara terus menerus sehingga upaya solusi dapat diperoleh oleh pihak terkait.

Variabel merupakan penampakan dan kejadian yang dapat diukur atau dimanipulasi pada sebuah proses riset. Pada penelitian ini terdiri atas lima variabel alami kondisi biofisik wilayah Kota Pontianak yang berpengaruh terhadap banjir Kota Pontianak. Variabel-variabel tersebut adalah curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, tutupan lahan, dan penggunaan lahan.

Curah hujan dipilih sebagai variabel karena curah hujan merupakan jumlah atau volume air yang jatuh pada suatu kawasan dalam waktu tertentu sehingga makin banyak volume hujan, makin besar kemungkinan terjadinya banjir. Curah hujan yang terjadi di Kota Pontianak sangat tinggi pada saat musim penghujan, dengan rerata curah hujan >3000 mm/th.

Kemiringan lereng adalah beda tinggi antara satu titik dengan titik lainnya (jarak vertikal) berbanding dengan jauhnya jarak antara satu titik dengan titik lainnya (jarak horizontal). Kemiringan lereng dipilih sebagai variabel karena kondisi topografi Kota Pontianak yang datar, sehingga aliran air akan sangat lambat, jika terjadi curah hujan tinggi maka air akan menggenangi daerah Kota Pontianak yang datar.

Kota Pontianak terdiri dari dua jenis tanah, yaitu aluvial dan gambut. Tanah aluvial cenderung memiliki daya infiltrasi yang rendah, sehingga air hujan tidak mudah masuk ke dalam tanah, tetapi melimpas di atas permukaan tanah. Tanah gambut memiliki daya serap air yang sangat tinggi, namun karena Kota Pontianak terletak pada ketinggian 0,1 – 1,5 mdpl, maka permukaan air tanahnya rendah, sehingga tanah gambut akan cepat jenuh sehingga tidak mampu menyerap air hujan, sehingga air hujan akan melimpasi tanah dataran.

Tutupan lahan merupakan area tutupan di atas permukaan bumi yang terdiri dari bentang alam atau bentang buatan, perlakuan manusia dapat mempengaruhi tutupan lahan dengan melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada kawasan tertentu. Citra Kota Pontianak diambil dari landsat OLI 8 tahun 2018 dengan 3 (tiga) kelas, yaitu permukiman, lahan terbuka dan kebun campuran.

Penggunaan lahan merupakan campur tangan manusia pada lahan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya secara material maupun spiritual. Dinamika penggunaan lahan di suatu daerah sangat menentukan respon hidrologi daerah tersebut, terutama aliran sungai dan banjir. Kota Pontianak adalah kota jasa dan perdagangan, sehingga penggunaan lahan dikelompokkan menjadi jasa dan industri; pendidikan dan perkantoran; permukiman; persawahan; dan ruang terbuka hijau.

Di bawah ini merupakan tabel konsep, variabel dan indikator penelitian.

Tabel 3.1. Konsep, variabel dan indikator penelitian

Konsep	Variabel	Indikator penelitian
Kerawanan Banjir Kota Pontianak	1. Curah hujan (± 3000 mm/th);	1. Sangat rawan (genangan >40 cm);
	2. Kemiringan lereng (datar);	2. Rawan (genangan 26 – 40 cm);
	3. Jenis tanah (aluvial dan gambut);	3. Kurang aman (genangan 11 – 25 cm);
	4. Tutupan lahan (permukiman, lahan terbuka, dan kebun campuran);	4. Aman (genangan 0 – 10 cm)
	5. Penggunaan lahan (jasa & industri, pendidikan & perkantoran, permukiman, persawahan, dan RTH);	

3.3. Teknik Pengumpulan Data dan Langkah-langkah Kegiatan

Penelitian ini akan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Studi literatur yang berkenaan dengan banjir, mulai dari definisi, macam, faktor penyebab, hasil penelitian sebelumnya hingga pada identifikasi variabel penyebab yang mempengaruhi banjir di Kota Pontianak.

- 2) inventarisasi ketersediaan data dan informasi utama maupun pendukung untuk melakukan penelitian berupa data data digital atau analog.
- 3) Pengumpulan data raster dan informasi spasial (vektor) yang merupakan variabel (kondisi biofisik) yang mempengaruhi banjir pada suatu lokasi dari instansi-instansi terkait. Peta-peta yang dikumpulkan mencakup: *layer*/peta sungai, peta batas administrasi pemerintahan, peta jalan, peta jenis tanah, serta peta topografi/rupa bumi.
- 4) Data cuaca yang meliputi curah hujan, kecepatan angin dari stasiun pengamat cuaca Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kalimantan Barat. Memasukkan data dalam format excel menjadi data spasial.
- 5) Peta kemiringan lereng (*slope*) diperoleh dari hasil turunan citra DEM ALOS PALSAR, dan peta tutupan lahan (*landcover*) merupakan hasil interpretasi citra Landsat OLI 8 path row 121, 060. Data citra Landsat 8 dan DEM ALOS PALSAR untuk seluruh wilayah studi.
- 6) Peta penggunaan lahan (*landuse*) merupakan hasil digitasi dari data peta photo atau berektensi image (jpg). Pada tahap ini, peta-peta yang masih berbentuk *hard copy* akan ditransformasi menjadi peta digital, yang dilakukan dengan cara dijitasi maupun *scanning*. Selanjutnya dilakukan transformasi sistem koordinat.

3.4. Penyusunan model

Model adalah representasi dari kenyataan, tujuan pembuatan model tingkat kerawanan banjir Kota Pontianak adalah untuk membantu memahami, menggambarkan atau memperkirakan bagaimana banjir di Kota Pontianak. Pemodelan dilakukan menggunakan variabel-variabel yang tersedia. Variabel penyebab banjir di Kota Pontianak, yaitu: curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan dan

tutupan lahan. Selanjutnya adalah melakukan tumpang susun semua variabel.

Variabel-variabel pembentuk model kerawanan banjir tersebut dikumpulkan dan diberi skoring berpedoman pada tingkat pengaruh masing-masing variabel terhadap banjir.

Semakin besar pengaruhnya, semakin besar juga nilai skoringnya. Kemudian disamakan proyeksi peta masing-masing variabel, lalu *dioverlay* atau ditumpangsusunkan melalui proses *analysis tool* dengan perintah *union* yang terdapat pada *software* ArcGis 10.3. Hasil *union* merupakan peta baru yang memberikan informasi dari keseluruhan variabel. Peta *union* ini kemudian harus diberi bobot masing-masing variabelnya.

Pemberian bobot dari masing-masing variabel dilakukan oleh para ahli, dalam penelitian ini ahli yang dipilih, yaitu satu orang dari Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Kalimantan Barat, dipilih karena memang bidang pekerjaan dan pengalamannya adalah pengairan. Satu orang ahli dari akademisi, dipilih atas dasar pengalaman dan bidang studinya yaitu hidrologi.

Penilaian terhadap masing-masing variabel yang dilakukan oleh para ahli dengan cara penilaian perbandingan berpasangan (*pairwise comparison* analisis) yang disusun sebagai matrik berordo sama. Cara penilaian ini merupakan metode yang telah dipopulerkan oleh L. Saaty dalam AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Kemudian diuji konsistensinya, jika memenuhi akan digunakan dalam menetapkan bobot model.

Dalam penelitian ini akan digunakan 3 model peta yang dibuat berdasarkan bobot masing-masing variabel yang telah diberikan oleh ahli pertama, sebagai model 3, peta berdasarkan bobot masing-masing variabel yang diberikan oleh ahli kedua, sebagai model 2, dan bobot masing-masing variabel berdasarkan formulasi logis Seyhan, sebagai model 1. Masing-masing bobot variabel ini diolah menggunakan ArcGIS sehingga diperoleh 3 peta tingkat kerawanan banjir, model 1, model 2 dan model 3.

3.5. Verifikasi Lapangan

Agar model dapat divalidasi maka perlu adanya verifikasi lapangan. Untuk setiap kondisi tingkat kerawanan dibuat data titik tinggi genangan berdasarkan pengecekan lapangan, sangat rawan (tinggi genangan >40 cm), rawan (tinggi genangan $26 - 40$ cm), kurang aman (tinggi genangan $11 - 25$ cm), aman (tinggi genangan $0 - 10$ cm). Sebagai acuan verifikasi lapangan ditetapkan sebanyak 25 titik dengan sebaran pada peta tingkat kerawanan banjir sebagai berikut, sangat rawan 11 titik, rawan 6 titik, kurang aman 5 titik, dan aman 3 titik.

3.6. Validasi Model

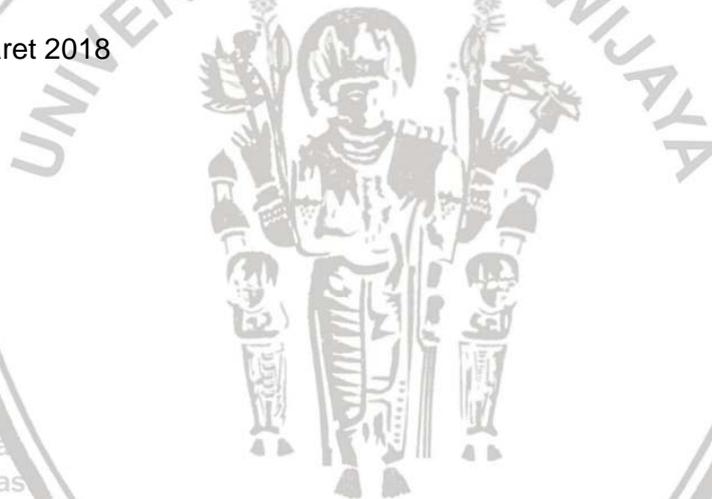
Validasi model merupakan cara untuk mengetahui keakuratan model. Model dengan tingkat akurasi tertinggi merupakan model yang baik karena memiliki ketepatan yang tinggi, dan kesalahan yang rendah sehingga kepercayaan terhadap model juga tinggi. Dari 3 model yang dihasilkan harus dipilih model yang terbaik. Untuk menetapkan model mana yang terbaik harus dilakukan uji akurasi dari ketiga model menggunakan konfusi matrik (*error matrix*), sehingga diperoleh hasil *user* akurasi, *producer* akurasi dan overall akurasi. Model dengan nilai overall akurasi tertinggi akan ditetapkan sebagai model tingkat kerawanan banjir Kota Pontianak yang terbaik.

3.7. Hasil

Dari seluruh kegiatan penelitian ini akan menghasilkan sebuah model berupa peta spasial, yang dinamakan peta tingkat kerawanan banjir Kota Pontianak.

3.9. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Pontianak, Kalimantan Barat. Kota Pontianak adalah kota yang memiliki keunikan karena dikelilingi oleh sungai-sungai, memiliki permukaan tanah relatif datar dengan ketinggian 0,1 – 1,0 m dari permukaan laut, dekat dengan muara dan memiliki jenis tanah gambut (*peat*) dan alluvial. Kota Pontianak juga relatif sering mengalami banjir, selain itu Kota Pontianak juga merupakan ibu kota dari Provinsi Kalimantan Barat, maka perlu kajian yang reprehensive variabel-variabel yang berpengaruh terhadap banjir. Sebagai ibu kota Provinsi diharapkan juga agar memiliki data data spasial yang lengkap agar mudah dilakukan penelitian-penelitian atau kajian lanjutan. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Agustus tahun 2017 sampai dengan bulan Maret 2018



BAB IV

DISKRIPSI LOKASI PENELITIAN

4.1. Gambaran Umum Kota Pontianak

Asal muasal Kota Pontianak adalah dari daerah Kesultanan yang didirikan sejak tahun 1771, setelah kemerdekaan Republik Indonesia, tepatnya pada tahun 1959 ditetapkan menjadi Kotapraja dengan status Daerah Otonomi Tingkat II. Kemudian berdasarkan SK DPRD Gotong Royong Nomor 12/KPTS.DPRD.GR/65 tanggal 31 Desember tahun 1965, dibentuk Kota Pontianak yang terdiri atas tiga kecamatan. Tahun 2008 dibentuk lagi sebuah kecamatan baru yaitu Kecamatan Pontianak Tenggara. Dalam perkembangannya sampai dengan saat ini, Kota Pontianak memiliki 6 (enam) kecamatan, yaitu Kecamatan Pontianak Kota, Kecamatan Pontianak Barat, Kecamatan Pontianak Selatan, Kecamatan Pontianak Tenggara, Kecamatan Pontianak Timur, dan Kecamatan Pontianak Utara. 29 (dua puluh sembilan) kelurahan, 582 RW (Rukun Warga), dan 2592 RT (Rukun Tetangga)

Kota Pontianak adalah ibu kota Provinsi Kalimantan Barat, memiliki luas wilayah sebesar 107,82 km². Kota Pontianak dikenal sebagai Kota Equator atau Kota Khatulistiwa karena Kota Pontianak dilintasi oleh garis equator, terletak antara 0° 02' 24" Lintang Utara sampai dengan 0° 05' 37" Lintang Selatan, dan 109° 16' 25" Bujur Timur sampai dengan 109° 23' 01" Bujur Timur. Kota Pontianak merupakan daerah tropis dengan suhu berkisar antara 22,4 °C – 36,4 °C, dengan kelembaban cukup tinggi. Kota Pontianak terletak di dataran rendah dengan

ketinggian berkisar antara 0,10 meter sampai 1,50 meter di atas permukaan laut (mdpl).

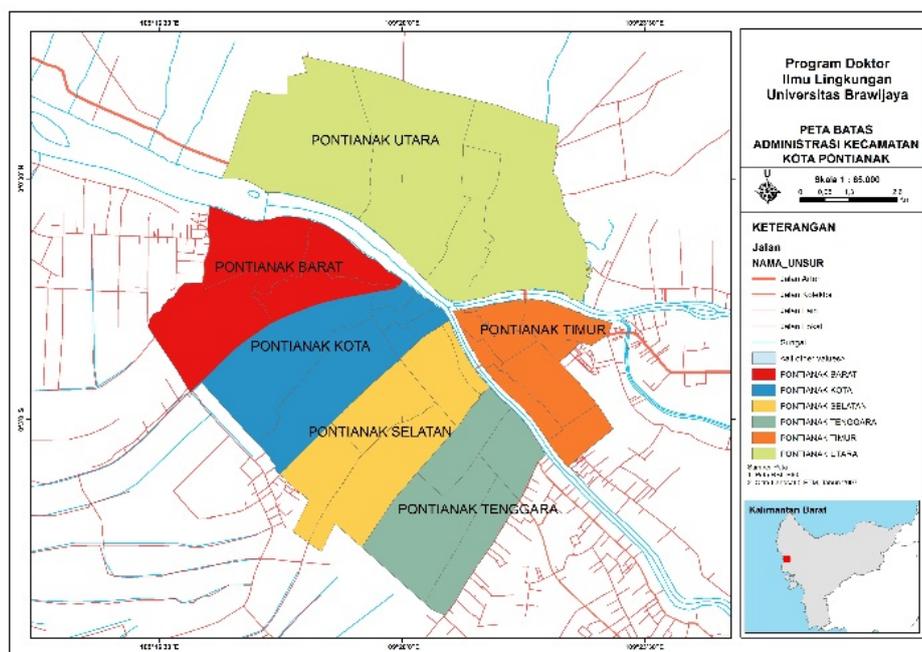
4.2. Luas dan Batas Wilayah

Luas Kota Pontianak adalah 107,82 km², dengan pembagian luas sebagai berikut:

Tabel 4.1. Luas wilayah Kota Pontianak menurut Kecamatan

Kecamatan	Luas (km ²)	Persentase (%)
Pontianak Selatan	14,54	13,49
Pontianak Tenggara	14,83	13,75
Pontianak Timur	8,78	8,14
Pontianak Barat	16,94	15,71
Pontianak Kota	15,51	14,39
Pontianak Utara	37,22	34,52
Kota Pontianak	107,82	100,00

Sumber: BPS Kota Pontianak, 2018



Gambar 4.1. Peta lokasi penelitian (Kota Pontianak)

Wilayah Kota Pontianak seluruhnya berbatasan dengan Kabupaten Kubu Raya dan Kabupaten Mempawah, dengan rincian sebagai berikut:

- Bagian Utara dengan Desa Wajok Hulu, Kecamatan Siantan, Kabupaten Mempawah.
- Bagian Selatan dengan Desa Pal IX dan Desa Punggur Kecil, Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya, dan Kecamatan Siantan, Kabupaten Mempawah.
- Bagian Barat dengan Desa Sungai Rengas, Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, dan Desa Wajok Hulu, Kecamatan Siantan, Kabupaten Mempawah.
- Bagian Timur dengan Desa Mega Timur, Desa Ambawang Kuala, Kecamatan Sungai Ambawang, Kabupaten Kubu Raya, Desa Kapur dan Desa Sungai Raya, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya.

4.3. Geologi

Kondisi geologi Kota Pontianak terdiri dari sedimen aluvium dan litoral, secara fisik merupakan jenis tanah liat. Sedimen aluvium terdiri dari sedimen klastik dan aluvium hasil sedimen teresterial aluvium, sedimen litoral terdiri dari sedimen klastik dan *fine* hasil dari sedimen litoral dan *estuary*. Jenis batuan aluvial merupakan bagian terbesar wilayah Kota Pontianak, hanya sebagian wilayah Pontianak Utara merupakan jenis batuan litoral. Jenis tanah yang terbentuk merupakan daerah *tropaquent* dan *tropofluevent* dengan kondisi tersaturisasi tetap *fluvaquent*. *Tropofluevent* dan *fluvaquent* merupakan sedimen akresi baru dengan berbagai komposisi, termasuk material organik. Daerah *tropaquent* melebar dari arah selatan ke arah pusat Kota Pontianak dan mendekati Sungai Kapuas.

Kota Pontianak terdiri dari dari jenis tanah organosol, gley, humus dan aluvial dengan perbedaan karakteristiknya masing-masing. Beberapa wilayah, ketebalan tanah gambut mencapai 1 – 6 meter. Jenis tanah gambut ini merupakan tanah jenuh air yang berasal dari endapan material organik yang telah terdekomposisi dalam jangka waktu yang lama.

4.4. Hidrologi

Sebagai kota yang terletak di dataran rendah, Kota Pontianak di belah oleh Sungai Kapuas Besar, Sungai Kapuas Kecil, dan Sungai Landak, sehingga menjadi 3 bagian wilayah daratan, serta di kelilingi oleh banyak sungai kecil (parit) sebagai berikut:

Tabel 4.2. Sungai/parit di Kota Pontianak

Kecamatan	Nama Sungai/Parit
Pontianak Selatan	Parit Bansir, Parit Besar, Parit Tokaya, dan Sungai Kapuas Kecil.
Pontianak Tenggara	Parit Bangka, Parit Haji Husin, dan Sungai Raya.
Pontianak Timur	Parit Bating, Parit Daeng Lasibek, Parit Haji Yusuf Karim, Parit Jepon, Parit Kongsi, Parit Langgar, Parit Mayor, Parit Pangeran Pati, Parit Semerangkai, Parit Tambelan, Parit Wan Bakar Kapur, Parit Haji Yusuf, Parit Jalil, Parit Norman, Sungai Kapuas Kecil, Sungai Landak, Sungai Kapitan, Sungai Jenggot, dan Sungai Kapuas Besar.
Pontianak Barat	Sungai Nipah Kuning, Sungai Jawi, Sungai Kapuas, Sungai Kapuas Besar, Parit Labala, Sungai Serok, Parit Tengah, Sungai Beliung, dan Sungai Selamat.
Pontianak Kota	Parit Besar, Sungai Jawi, Sungai Bangkong, Sungai Kakap, dan Sungai Kapuas Besar.
Pontianak Utara	Parit Jawa, Parit Makmur, Parit Malaya, Parit Nanas, Parit Pangeran, Parit Sungai Kunit, Parit Sungai Putat, Parit Sungai Sahang, Parit Sungai Selamat, Parit Wan Salim, Sungai Kapuas Besar, Sungai Landak, Sungai Kuning, Parit Pak Kacong, Sungai Durhaka, Parit Pekong, Parit Lie, Parit Belanda, Parit Cekwa, Sungai Pandan, dan Parit Pangeran II.

Sumber: BPS Kota Pontianak, 2018

4.5. Klimatologi

Kota Pontianak beriklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Menurut data dari Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak tahun 2017 (BPS, 2018), suhu udara di Kota Pontianak berkisar antara 22,6 – 36,4 °C, rerata kelembaban udara 81,8%, rerata tekanan udara sebesar 1.010,3 milibar, rata-rata kecepatan angin berkisar antara 1,8 – 2,9 knot dengan kecepatan angin terbesar mencapai 44 knot, curah hujan terbesar 514,5 mm terjadi pada bulan Agustus, jumlah hari hujan terbanyak 26 hari yang terjadi pada bulan November, total curah hujan pada tahun 2017 sebesar 3.079,6 mm/tahun.

4.6. Kependudukan

Perkiraan jumlah penduduk Kota Pontianak tahun 2017 adalah sebanyak 627.021 jiwa, dengan perincian per kecamatan sebagai berikut:

Tabel 4.3. Kepadatan penduduk Kota Pontianak per kecamatan

Kecamatan	Luas		Penduduk (orang)		Kepadatan (org/km ²)
	(km ²)	(%)	Jumlah	%	
Pontianak Selatan	14,54	13,49	94.249	15,03	6.482
Pontianak Tenggara	14,83	13,75	50.737	8,09	3.421
Pontianak Timur	8,78	8,14	93.112	14,85	10.605
Pontianak Barat	16,94	15,71	138.715	22,12	8.189
Pontianak Kota	15,51	14,39	123.823	19,75	7.983
Pontianak Utara	37,22	34,52	126.385	20,16	3.396
Kota Pontianak	107,82	100,00	627.021	100,00	5.815

Sumber: BPS Kota Pontianak, 2018

4.7. Sosial Ekonomi

Kualitas sumber daya manusia (SDM) sangat ditentukan oleh tingkat pendidikan masyarakat. Kota Pontianak dengan berbagai jenjang pendidikan berikut, Taman Kanak-kanak (TK) sebanyak 128, Sekolah Dasar (SD) 192,

Sekolah Menengah Pertama 109, Sekolah Menengah Atas 68, Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) 31, dan Perguruan Tinggi (PT) 26.

Sektor perdagangan dan jasa merupakan andalan pendapatan Kota Pontianak, hal ini dapat dilihat melalui Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) sebagai salah satu indikator makro ekonomi. PDRB Kota Pontianak yang dihitung atas dasar harga konstan (ADHK) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4. PDRB Kota Pontianak Atas Dasar Harga Konstan (Juta Rupiah)

Lapangan Usaha	2015	2016*	2017**
A Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	330.239,10	342.254,27	354.607,41
B Pertambangan & Penggalan	-	-	-
C Industri Pengolahan	3.536.632,14	3.663.494,17	3.809.001,81
D Pengadaan Listrik & Gas	24.656,36	28.358,03	29.646,82
E Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah, Limbah & Daur Ulang	81.399,38	87.805,51	91.941,15
F Konstruksi	3.299.849,43	3.377.386,22	3.603.124,95
G Perdagangan Besar & Eceran	4.079.128,21	4.286.338,39	4.476.485,58
H Transportasi & Pergudangan	2.001.082,15	2.121.145,93	2.197.774,05
I Penyediaan Akomodasi & Makan Minum	705.069,40	752.514,34	796.908,83
J Informasi & Komunikasi	984.906,35	1.086.908,71	1.210.925,43
K Jasa Keuangan & Asuransi	1.727.240,39	1.877.034,19	1.985.306,73
L Real Estat	579.667,30	608.360,83	633.486,14
M,N Jasa Perusahaan	142.591,02	153.536,80	161.181,74
O Administrasi Pemerintahan, Pertahanan & Jaminan Sosial Wajib	1.024.581,30	1.103.770,51	1.158.280,18
P Jasa Pendidikan	1.450.197,55	1.496.985,00	1.544.319,52
Q Jasa Kesehatan & Kegiatan Sosial	356.343,19	372.639,85	385.647,57
R,S,T,U Jasa Lainnya	423.911,48	442.910,64	464.524,68
PDRB	20.747.494,75	21.801.443,39	22.903.162,59

Sumber: BPS Kota Pontianak, 2018

* Angka Sementara

**Angka Sangat Sementara

4.8. Penggunaan Lahan

Berdasarkan data Statistik Penggunaan Lahan Kota Pontianak tahun 2016, oleh BPS Kota Pontianak, luas lahan menurut penggunaannya di Kota Pontianak adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5. Luas lahan menurut penggunaan di Kota Pontianak (ha)

Jenis Penggunaan	2014	2015	2016
A. Lahan Pertanian			
Lahan Sawah	220	215	221
Irigasi teknis	0	0	0
Irigasi setengah teknis	0	0	0
Irigasi sederhana PU	0	0	0
Irigasi desa/non PU	0	0	0
Tadah hujan	216	215	221
Pasang surut	4	0	0
Lainnya (lebak, polder, rembesan)	0	0	0
Sawah yang sementara tidak diusahakan	0	0	0
Lahan bukan sawah	3.618	3.607	3.576
Tegal/kebun	2.163	2.145	2.172
Ladang/huma	30	28	28
Perkebunan	100	92	90
Ditanami pohon/hutan rakyat	674	666	606
Padang penggembalaan/rumput	0	0	2
Hutan negara	0	0	2
Sementara tidak diusahakan	301	328	328
Lainnya	350	348	348
B. Lahan bukan Pertanian	6.944	6.960	6.985
Kota Pontianak	10.782	10.782	10.782

Sumber: BPS Kota Pontianak, 2016

Berdasarkan data BPS Kota Pontianak tahun 2009, penggunaan lahan di Kota Pontianak diklasifikasikan menjadi beberapa jenis penggunaannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6. Luas lahan menurut jenis penggunaan (ha)

Jenis Penggunaan	2006	2007	2008
Permukiman	5.807,60	5.812,22	5.983,53
Pasar	11,35	11,35	11,35
Perdagangan	121,96	130,45	130,45
Perkantoran	131,36	131,72	131,72
Fasilitas Kesehatan	16,96	17,91	17,91
Fasilitas Peribadatan	25,90	26,35	26,48
Fasilitas Pendidikan	57,80	57,80	57,80
Perguruan Tinggi	161,50	161,50	161,50
Fasilitas Olah Raga	94,25	94,25	94,25
Fasilitas Kesenian	0,02	0,02	0,02
Fasilitas Perhubungan	208,65	212,25	217,96
Pergudangan	115,03	115,04	115,04
Pembangkit Tenaga Listrik	2,95	2,95	2,95
Industri	69,13	69,83	70,35
Kebun Campuran	1.163,34	1.156,06	1.104,04
Kebun Karet Rakyat	420,00	416,15	399,50
Semak	1.370,59	1.362,54	1.253,54
Hutan	320,17	320,17	320,17
Lain-lain/Sungai & Parit	683,44	683,44	683,44
Jumlah Total	10.782,00	10.782,00	10.782,00

Sumber: BPS Kota Pontianak, 2009

Tabel 4.7. Luas lahan sawah dan lahan kering (ha)

Jenis Penggunaan	2006	2007	2008
Lahan Sawah	336	399	399
Tadah hujan	31	36	36
Pasang surut	295	363	363
Sawah yang sementara tidak diusahakan	10	-	-
Lahan Kering	10.446	10.383	10.383
Pekarangan/bangunan & halaman	5.051	5.069	5.069
Tegal/kebun/ladang	2.945	2.863	2.863
Kolam/tebat/empang	4	4	4
Sementara tidak diusahakan	451	451	451
Lahan yg ditanami kayu/kayu-kayuan/hutan rakyat	635	635	635
Perkebunan	118	118	118
Lain-lain	1.242	1.243	1.243
Jumlah Total	10.782	10.782	10.782

Sumber: BPS Kota Pontianak, 2009

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian

Pemilihan variabel pembentuk model kerawanan banjir Kota Pontianak mempertimbangkan pengaruh faktor alam atau fisik lahan yaitu: curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan dan tutupan lahan. Adapun tahapan pada penelitian ini meliputi: pembuatan peta tematik setiap variabel banjir, pembuatan model (permodelan) dan validasi model tingkat kerawanan banjir serta manfaat peta kerawanan banjir Kota Pontianak.

5.1.1 Pembuatan peta tematik

a. Curah Hujan

Penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan pada stasiun klimatologi atau meteorologi terdekat dengan daerah penelitian Kota Pontianak, yaitu data dari stasiun Maritim, stasiun meteorologi Supadio dan stasiun meteorologi Mempawah. Data tersebut dalam format *spreadsheet* semisal format **.csv* yang sudah mempunyai lokasi geografis seperti pada tampilan gambar L1.1 di lampiran

1.

Setelah file siap kita buka di *ArcMap* untuk kita plot atau gambar posisinya.

Perlu diingat ketika membuka *file* tersebut pastikan sudah tertutup *filenya* dari program pembuka *spreadsheet* seperti *excel*, *wps* atau lainnya. Membuka *file excel* tersebut menggunakan perintah *add layer* seperti membuka *file layer shp*.

Pada *file* tersebut dapat dilakukan pengecekan dengan membuka, yaitu klik kanan di *layer* csv tersebut untuk mengetahui data atributnya. Proses berikutnya *plotting* dengan *tools display xy data*.

Display xy data akan muncul dengan mengklik kanan pada *layer spreadsheet* csv tersebut. Pastikan diisi dengan benar, x dan y nya. Jika koordinat geografis x adalah bujur, y adalah lintang dan atur juga sistem proyeksinya menggunakan sistem GCS (*Geographic Coordinat System*) menggunakan *elipsoid* WGS 1984.

Jika muncul pesan kotak dialog, maka di ok saja, karena data dari *spreadsheet* tidak ada idnya. Lalu akan muncul hasilnya berupa *event points* yang masih *layer* semu belum disimpan. Ekspor data menggunakan klik kanan pada *layer event points* dan disimpan ke direktori menjadi *sta hujan.shp*. Hasil proses ekspor lalu ditampilkan, seperti gambar L1.10 di lampiran 1.

Langkah selanjutnya setelah titik stasiun hujan berhasil tampil di *ArcMap* yaitu dengan melakukan pembangunan pemodelan titik tersebut menjadi curah hujan dengan cara poligon Thiessen dan interpolasi menjadi raster.

1) Peta tematik curah hujan dengan poligon Thiessen

Poligon Thiessen adalah poligon yang terbuat dengan melakukan pendefinisian data minimal 3 titik data dengan mencari jarak tengah antar titik dan dihubungkan.

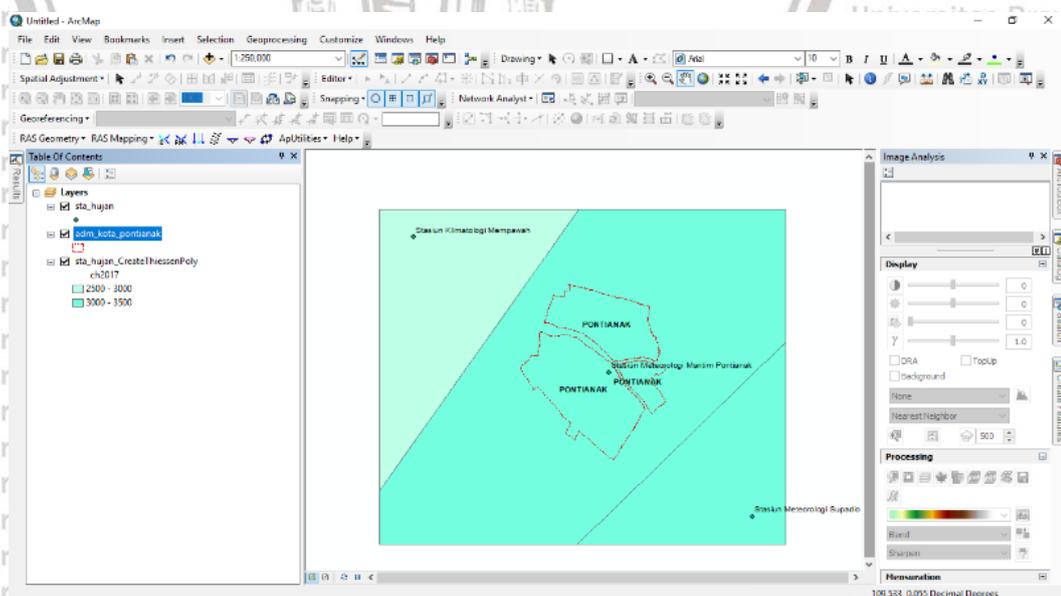
Langkah pertama adalah membuka *ArcMap*, kemudian pilih *add data*, lalu masukkan data shp wilayah, dan data shp curah hujan, kemudian *Arc Toolbox* yang digunakan adalah *analysis tools* dan menuju pada analisis kedekatan (*proximity*), lalu dipilih *create Thiessen polygons*. Hasil poligon Thiessen yg terbentuk, tampak seperti gambar L1.16 di lampiran 1.

Pengkelasan kelas curah hujan dimulai dari kurang dari 1500, 1500 - 2000, 2000 - 2500, 2500 - 3000, 3000 - 3500 dan di atas 3500 (sesuai pengkelasan curah hujan pada umumnya).

Karena di Pontianak sesuai data hanya 2560 sampai 3402 maka dikelaskan ke 2 kelas saja. Langkahnya adalah sebagai berikut yaitu sorot pada *layer* hasil poligon *Thiessen* dan mencentang pada kotak di sampingnya serta klik kanan.

Maka akan muncul *layer properties* lalu klik *symbology*, *quantities*, mengisi *value* dengan ch 2017, mengisi klasifikasi kelas yang diinginkan.

Metode Thiessen adalah metode yang ditentukan dengan cara membuat poligon antar stasiun pada suatu wilayah kemudian tinggi hujan rata-rata dihitung dari jumlah perkalian antara setiap luas poligon dan tinggi hujan dibagi dengan seluruh luas wilayah. Metode poligon Thiessen biasanya digunakan untuk mengetahui tinggi hujan rata-rata serta apabila stasiun hujan tidak tersebar merata. Hasilnya terlihat pada gambar 5.1, Kota Pontianak hanya ada di kelas curah hujan 3000 - 3500 (tinggi), sebagai berikut:



Gambar 5.1. Hasil proses pengkelasan poligon Thiessen

2) Curah hujan dengan Interpolasi

Interpolasi adalah suatu metode menghitung nilai di sekitar titik data stasiun hujan dan menentukan nilai-nilai daerah yang lain berdasar kedekatan dan nilai titik sampel tersebut. Interpolasi untuk membuat peta curah hujan di ArcGIS biasa menggunakan metode IDW, Spline dan Kriging. *ArcTools* untuk interpolasi berada pada *spatial analysis tools* pada menu *interpolation*.

3) Interpolasi IDW (*Inverse Distance Weighted*)

Untuk menginterpolasi data stasiun hujan di atas tadi dengan interpolasi IDW, langkahnya adalah sebagai berikut, pada kotak dialog di bawah diisi data dan nilai z untuk interpolasi dalam hal ini curah hujan tahunan 2017 Pontianak dan sekitarnya.

Hasil interpolasi merupakan file raster dengan klasifikasinya yg belum baku.

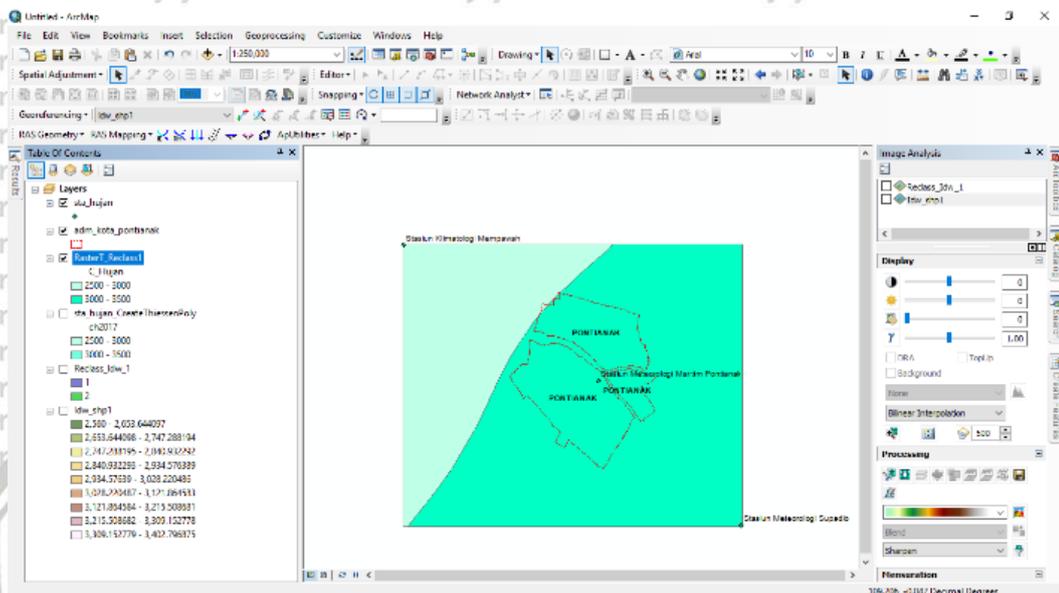
Perlu proses pengklasifikasian ulang dengan *reclass*. Cara pengklasifikasiannya dengan melihat nilai minimum dan maksimum data, kita buat jadi 2 kelas. Caranya dengan membagi di *break* pada batas akhir. Langkahnya seperti di bawah ini:

Hasil sementara sebelum diedit atributnya masih berupa raster dengan *grid code* 1 yaitu kelas 2500 - 3000 dan *grid code* 2 kelas 3000 - 3500. Untuk memasukkan nilai dengan membuat *attribut* pada *shape file* hasil *reclass* yang sebelumnya dikonversi shp dengan *conversion tools* di *toolbox*.

Proses konversi raster menjadi *shapefiles* dapat dilihat pada gambar L1.26 di lampiran 1. Pada hasil sementara tersebut belum ditunjukkan kelasnya dan diubah *displaynya*. Langkah mengedit atributnya; proses membuat *field* baru *c_hujan*, pendefinisian dan pemberian nama *field*, pengisian *record* curah hujannya berdasarkan *grid code*. Proses berikutnya pengklasifikasian ulang

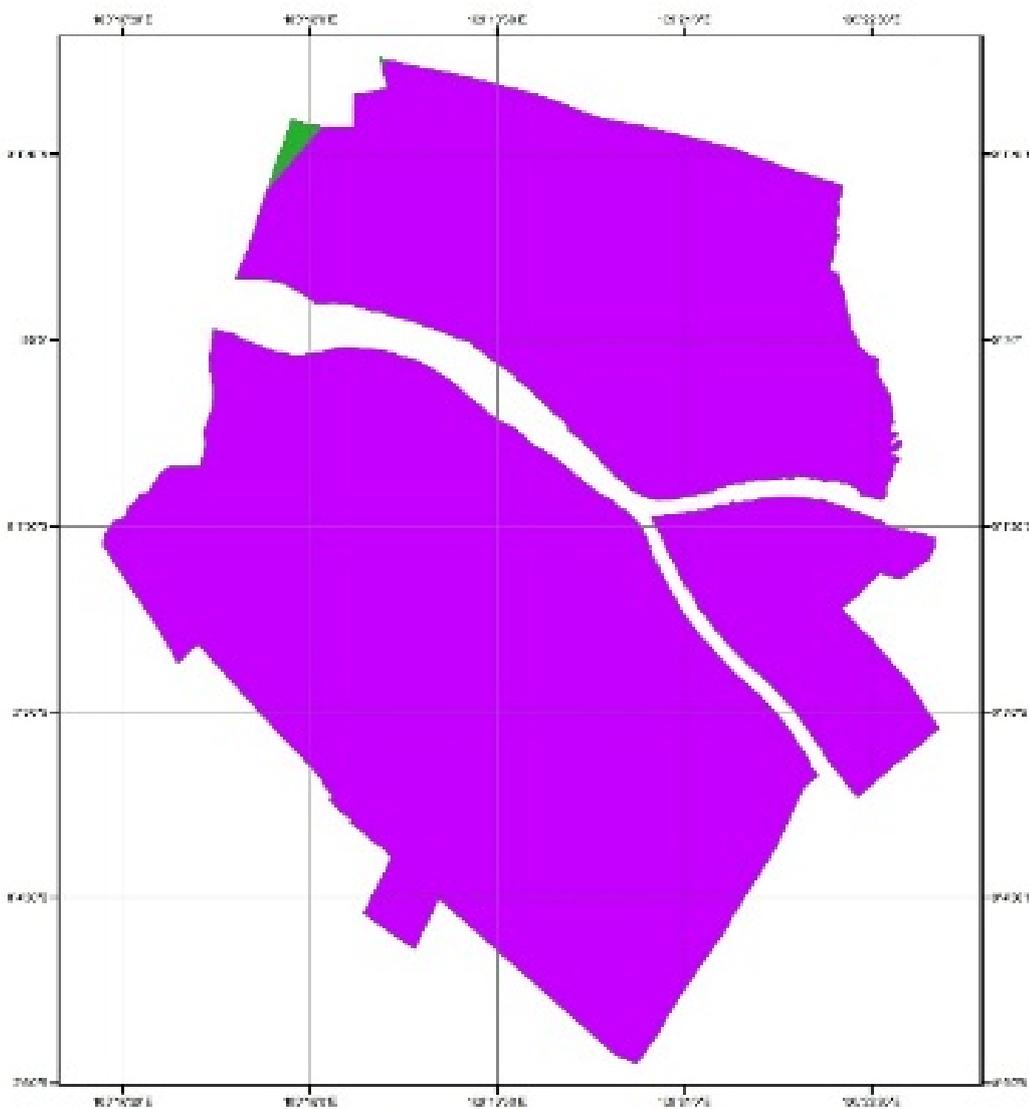
dalam simbol dan *display* sehingga didapat informasi curah hujan dalam rentang kelas;

Hasil Akhirnya bisa dilihat di gambar 5.2 berikut:



Gambar 5.2. Hasil interpolasi IDW

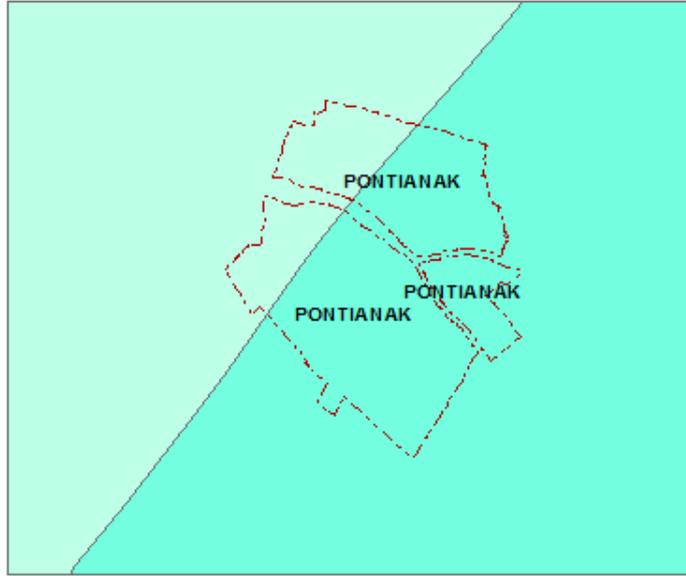
Berdasar hasil interpolasi IDW, wilayah kota Pontianak sebagian besar curah hujannya 3000 - 3500 dan ada di bagian utara barat sedikit bercurah hujan 2500 - 3000 mm per tahun. Adapun untuk metode interpolasi lainnya caranya sama.



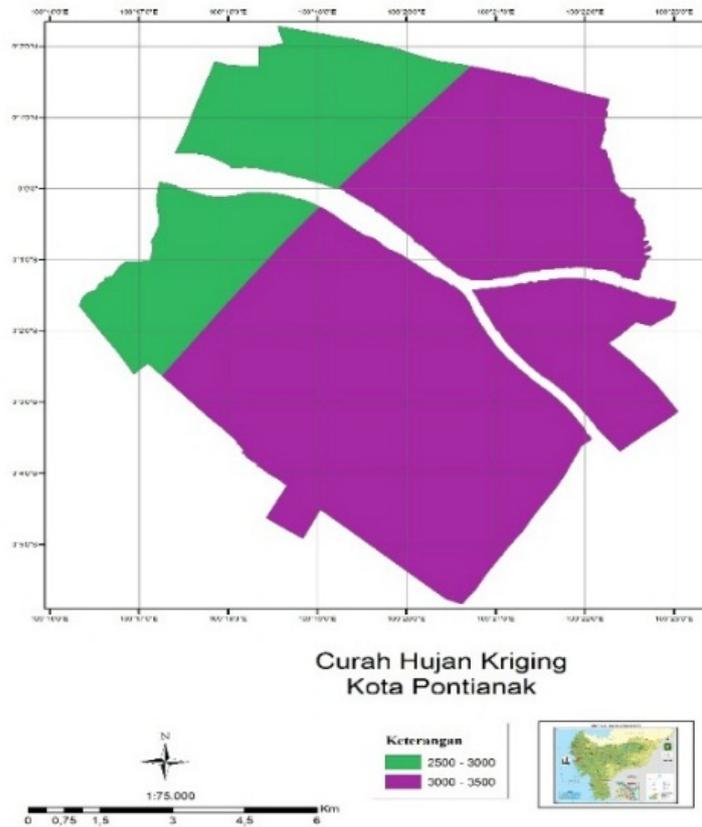
Curah Hujan IDW (Inverse Distance Weighted) Kota Pontianak

Gambar 5.3. Peta curah hujan Kota Pontianak metode IDW

4) Metode Kriging



Gambar 5.4. Peta curah hujan Kota Pontianak metode Poligon Kriging

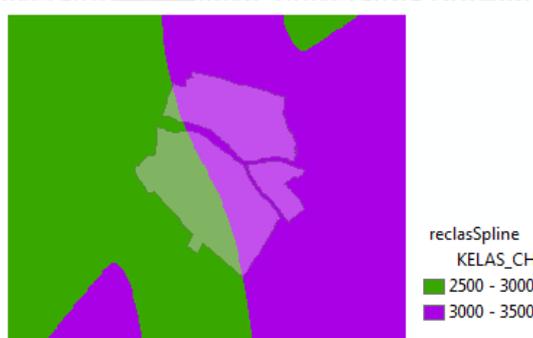


Gambar 5.5 Hasil peta curah hujan Kota Pontianak metode poligon Kriging

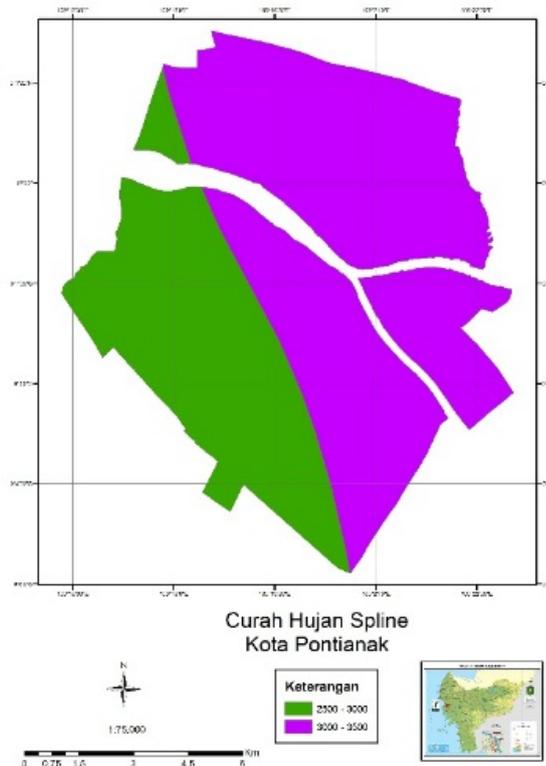
5) Metode *Spline*

Jika dipilih metoda *Spline* maka ada pilihan tipe *Regularized* dan *Tension*.

Regularized membuat permukaan halus sedangkan *Tension* mempertegas bentuk permukaan sesuai dengan fenomena model. ESRI (1996) menyatakan bahwa metode interpolasi *spline* mengestimasi nilai sel berdasarkan nilai rata-rata pada hampiran antara *point* data masing-masing contoh:



Gambar 5.6. Curah hujan Kota Pontianak metode Poligon *Spline*



Gambar 5.7. Hasil peta curah hujan Kota Pontianak metode *Spline*

Metode *Spline* dianggap sesuai digunakan pada lokasi yang tidak memiliki data curah hujan yang memadai atau stasiun pengamat hujan yang sangat minim seperti keadaan di Kota Pontianak. Bila ditinjau dari pergerakan angin, angin adalah udara yang bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke daerah bertekanan udara rendah (barat ke timur). Angin laut yang bertekanan udara tinggi pada siang hari membawa awan hujan dari samudera menuju daratan sehingga curah hujan lebih sering dan banyak terjadi.

Pada peta tematik curah hujan yang bisa mempresentasikan keadaan curah hujan di Kota Pontianak secara lebih nyata dan relatif sesuai kondisi sebenarnya adalah berdasarkan hasil interpolasi menggunakan metode *Spline*. Hal ini berdasarkan pada sebaran data menunjukkan bahwa metode *Spline* ini memberikan data yang tersebar merata (gambar 5.7), di daerah Kota Pontianak bagian Timur merupakan wilayah yang memiliki curah hujan sangat tinggi (3001 – 3500 mm), dan daerah Kota Pontianak bagian Barat merupakan wilayah yang memiliki curah hujan tinggi (2500 – 3000 mm).

b. kemiringan lereng

Tahapan utama pembuatan peta lereng dari *DEM* ini adalah dengan membuat *slope* di perintah *surface* pada *toolbox spatial analyst*, kemudian dipilih opsi lereng dalam satuan *degree* atau persen. Umumnya pembuatan peta lereng menggunakan satuan persen. Setelah itu data kemudian dilakukan proses reklasifikasi menggunakan menu *reclassify* sesuai dengan penggolongan lereng yang sdh umum. Proses berikutnya melakukan konversi layer raster lereng menjadi *layer vektor poligon* menggunakan *toolbox tools conversion*. Tahapan akhir berupa editing atribut dan teks berupa *data base* penggolongan lereng dan hipsografi (bentuk muka buminya).

Data DEM ALOS PALSAR wilayah (Scene Kota Pontianak), layer administrasi berupa poligon Kota Pontianak dan Software ArcGIS sudah terinstal dengan baik berikut dengan fungsionalitas dari Arc ToolBoxnya. Langkah-langkah secara detail adalah sebagai berikut, tahap pertama yaitu membuka software ArcGIS kemudian memunculkan layer DEM ALOS berikut dengan admin Kota Pontianak. Prosesnya seperti gambar L2.1 – L2.3 di lampiran 2.

Tahap berikutnya adalah memotong citra raster DEM berformat tiff tersebut dengan layer administrasi kota Pontianak. Tools yang digunakan adalah tools clip yang berada pada menu raster processing, seperti terlihat pada gambar L2.4 dan L2.5 di lampiran 2.

Pada kotak dialog di atas yang akan di clip DEM Alos, sebagai pemotongnya batas administrasi berupa layer poligon, kemudian diceklis pada pilihan use input feature for clipping geometry, jangan lupa untuk disimpan dengan nama demponti.

Proses berikutnya membuat slope/lereng dengan membuka arc toolbox, raster surface, Slope dari data dem ponti tersebut seperti ilustrasi di gambar L2.6 - L2.9 pada lampiran 2.

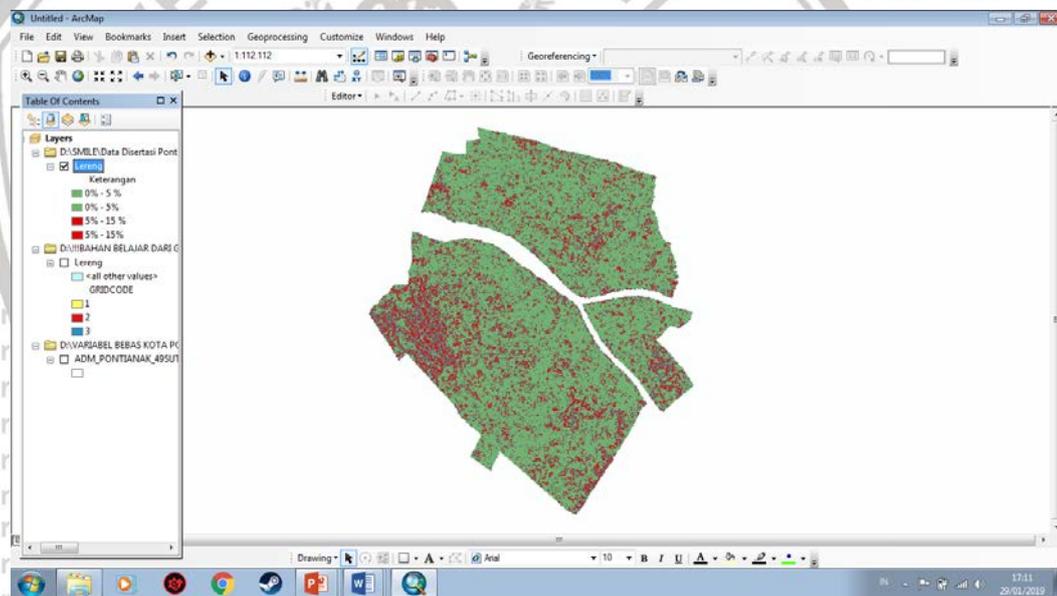
Pembagian lereng diklasifikasikan sebagai berikut, 0 - 5% adalah datar, 5 – 15% landai, 15 - 25% agak curam, 25 – 45% curam dan lebih besar dari 45% adalah sangat curam. Di dalam software menggunakan tools reclassify pada menu arc toolbox, spatial analyst tools. Setelah diklasifikasikan sesuai rentang data pada pedoman kategorisasi tersebut, Kota Pontianak hanya ada 2 rentang kemiringan lereng.

Proses berikutnya adalah konversi lereng atau slope dalam format raster menjadi lereng atau slope dalam format vektor menggunakan tools conversion raster to polygon.

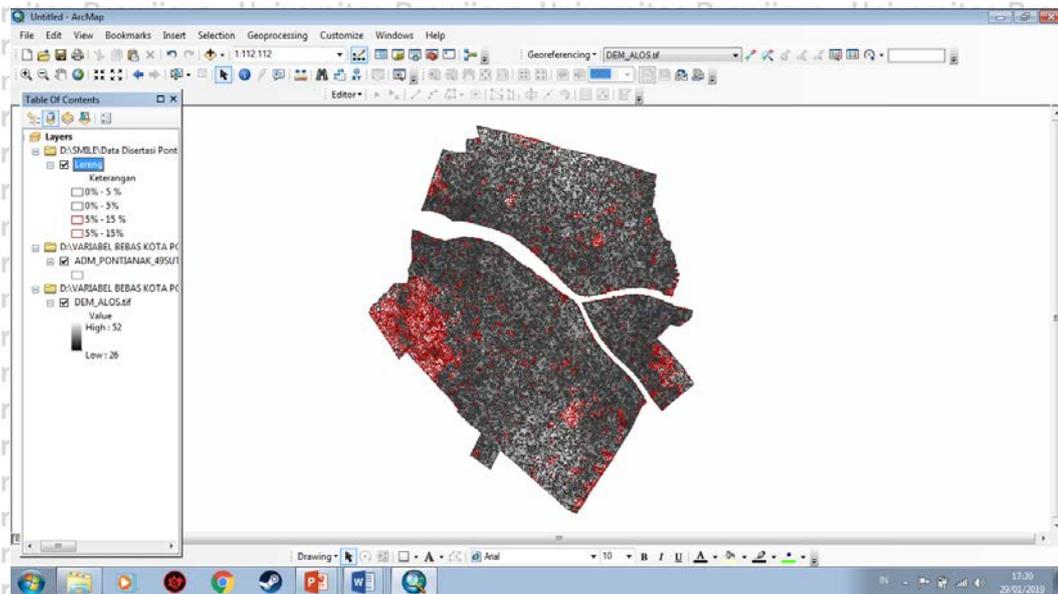
Tahapan akhir proses ini adalah finalisasi *editing attribute* dimana kita harus membuat kolom atau field baru berupa lereng dan hipsografi dengan cara klik *table options, add field*. Pengisian atribut menggunakan cara *query (select by attributes)* dan dilakukan dengan *field calculator*. Proses pengeditan atribut berlangsung secara cepat dengan kategorisasi tadi menggunakan pengisian data atau *record* secara otomatis melalui *field calculator*.

Untuk *gridcode* 2, pengisian kategori lerengnya sesuai cara di atas sampai selesai. Kemudian ditambahkan juga dengan kolom hipsografi dengan pengisian yang sama.

Hasil akhir layer atau peta lereng sebagai berikut:



Gambar 5.8. Peta kemiringan lereng Kota Pontianak

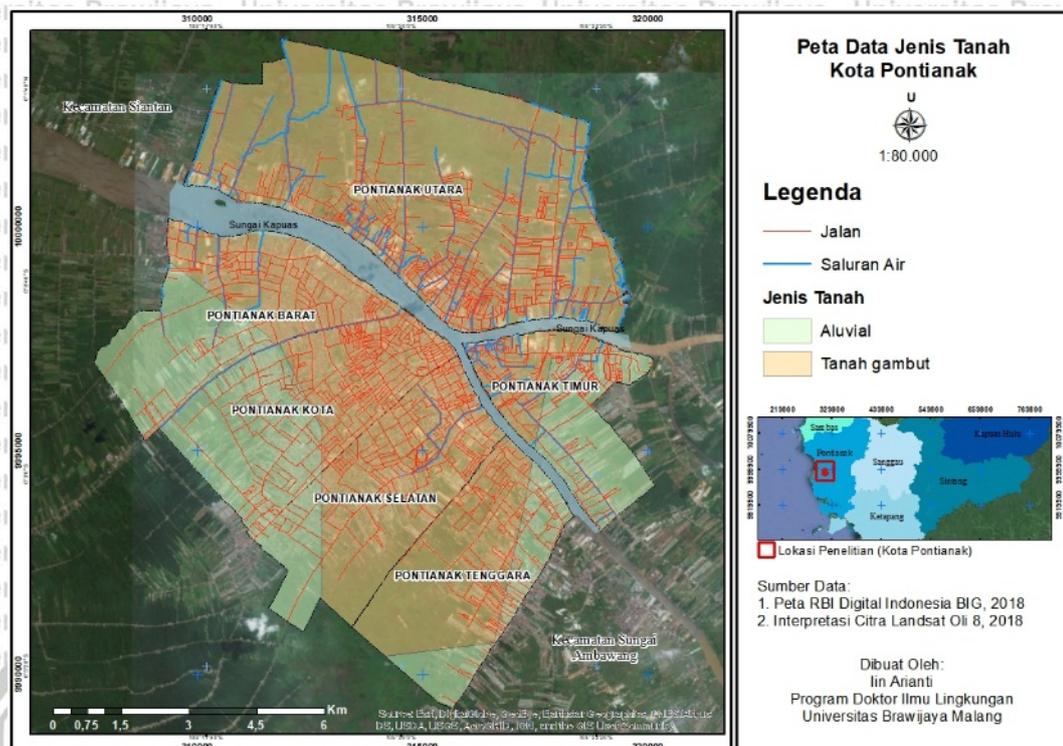


Gambar 5.9. Tampilan peta kemiringan lereng Kota Pontianak dengan *layer* DEM Alos Palsar yang ditransparansi

Berdasarkan peta kemiringan lereng pada gambar 5.9, Kota Pontianak hanya terdiri dari 2 kelas kemiringan lereng, yaitu 0 – 5% kategori datar dan 6 – 15% kategori landai. Berdasarkan peta kemiringan lereng pada gambar 5.8, Kota Pontianak didominasi oleh daerah dengan kelas kemiringan lereng 0 – 5% seluas 72 km² atau sebesar 66,7% dan daerah dengan kelas kemiringan lereng 6 – 15% seluas 36 km² atau sebesar 33,3%. Hal ini menunjukkan bahwa Kota Pontianak merupakan kota yang berada di daerah datar.

c. jenis tanah

Peta jenis tanah yang diperoleh merupakan peta spasial dalam bentuk atau format *shapefile*. *Shapefile* adalah format data untuk menyimpan data spasial non topologis berbasis vektor. *Shapefile* digunakan untuk menyimpan data peta digital pada sistem informasi geografis. Format data ini dikembangkan oleh ESRI.



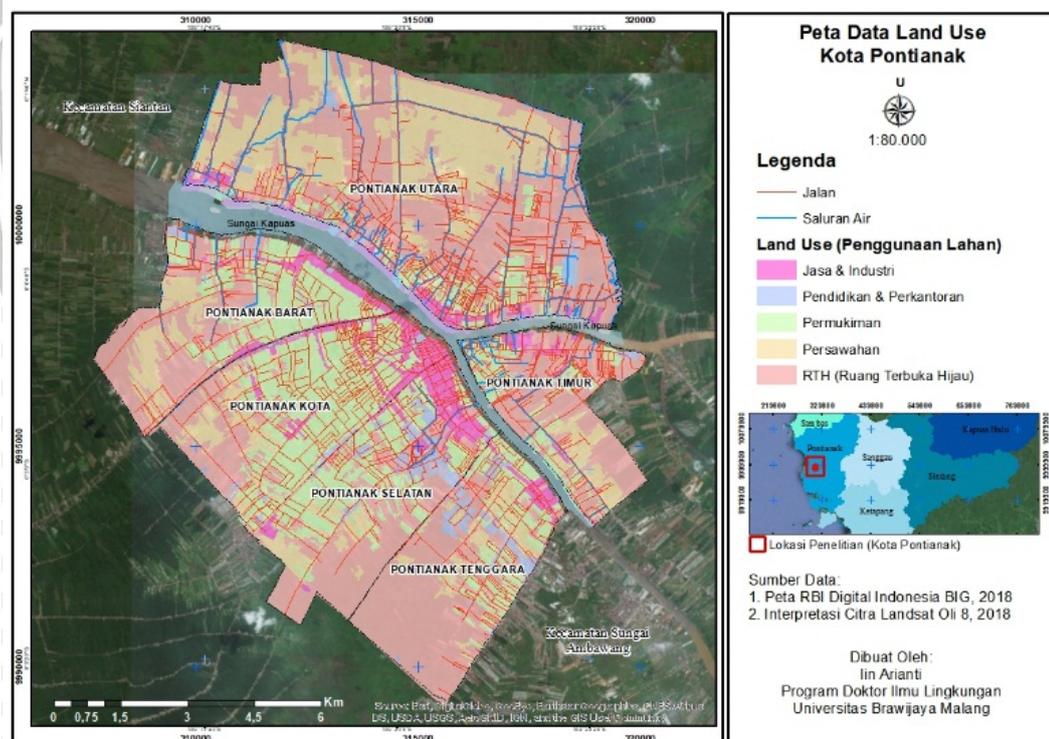
Gambar 5.10. Peta jenis tanah Kota Pontianak

Dari peta jenis tanah pada gambar 5.10, dapat dilihat bahwa jenis tanah yang ada di Kota Pontianak hanya terdiri dari 2 (dua) kelas yaitu tanah aluvial seluas 30 km² setara dengan 27,8% dan tanah gambut seluas 78 km² setara dengan 72,2%.

d. Penggunaan lahan (*landuse*)

Peta penggunaan lahan diperoleh dari proses digitasi ulang peta dari RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033. Peta penggunaan lahan terdiri dari 5 klasifikasi yang merupakan peta detil dari daerah terbangun. Daerah terbangun tersebut terbagi atas daerah atau lokasi yang diperuntukan sebagai daerah jasa dan industri, pendidikan (sekolah) dan perkantoran, permukiman, persawahan dan ruang terbuka hijau (RTH). Hal ini berkaitan erat bahwa peristiwa banjir sangat mempengaruhi penggunaan lahan tersebut. Pada wilayah tempat jasa dan industri akan sangat berpengaruh terhadap faktor ekonomi, dengan adanya banjir akan membuat ekonomi lumpuh. Sedangkan bila area tempat pendidikan dan

perkantoran terjadi banjir maka aktifitas pendidikan dan pemerintahan akan terganggu sehingga akan merugikan karena target pendidikan tidak tercapai dengan terkendalanya kegiatan belajar mengajar sehingga akan menurunkan kecerdasan bangsa, begitu pula pada sektor pemerintahan dapat mempengaruhi penurunan dan keterlambatan dalam pelayanan publik. Wilayah permukiman yang terkena banjir akan mengakibatkan kerugian materi dan gangguan kesehatan bagi masyarakat. Wilayah persawahan yang terkena banjir akan merugikan petani yang mengakibatkan gagal panen. Ruang terbuka hijau yang terkena banjir dapat menimbulkan genangan air yang jika tidak segera dikeringkan dapat menjadi sarang penyakit.



Gambar 5.11. Peta penggunaan lahan (*landuse*) Kota Pontianak

Dari peta penggunaan lahan pada gambar 5.11, dengan pembagian berdasarkan 5 (lima) kelas, wilayah jasa dan industri seluas 7,1 km² setara 6,6%; wilayah pendidikan dan perkantoran seluas 3,2 km² setara 2,9%; wilayah

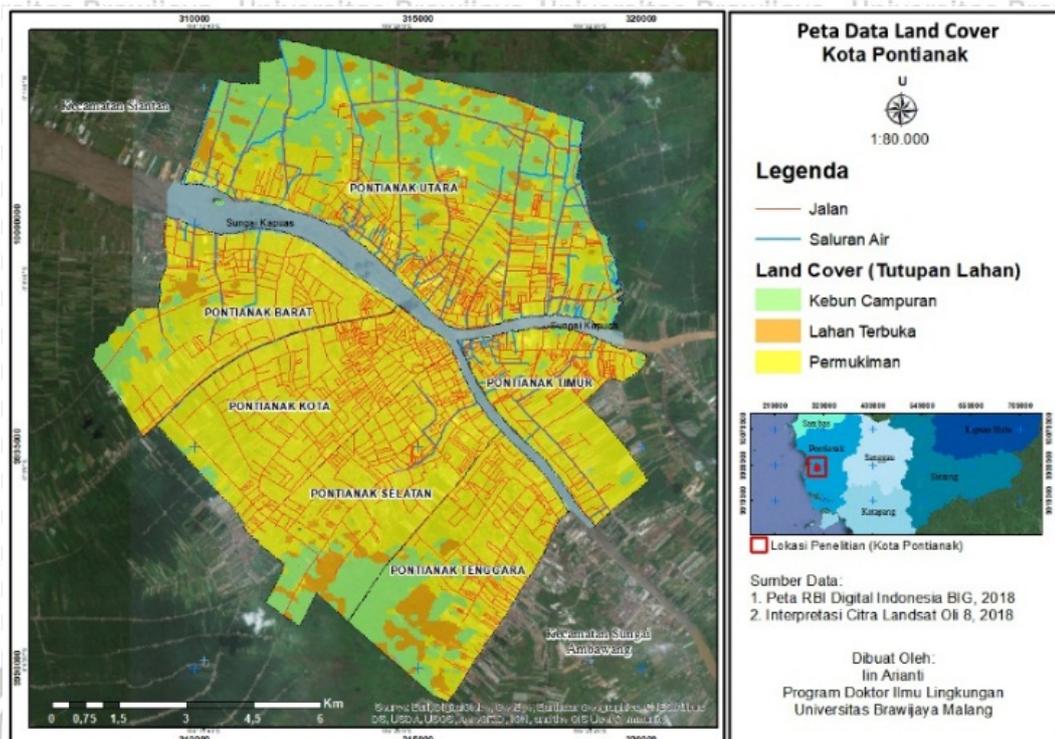
permukiman seluas 26,2 km² setara 24,3%; wilayah persawahan seluas 21,3 km² setara 19,7%, dan wilayah ruang terbuka hijau seluas 50,2 km² setara 46,5%.

e. Tutupan lahan (*landcover*)

Berikut ini adalah langkah-langkah melakukan klasifikasi digital *unsupervised* metode ISODATA, bahan yang digunakan yaitu citra *landsat* daerah Kota Pontianak dan alatnya menggunakan adalah *software* *envi*. Jika membuat citra *landsat* berwarna, maka perlu proses pengkombinasian *band*, dalam hal ini menggunakan warna natural *landsat* 8 dengan kombinasi *band* RGB.

Langkah untuk klasifikasi selanjutnya yaitu proses klasifikasi (citra sudah terkoreksi baik geometrik maupun radiometriknya). Proses klasifikasi menggunakan alat di *toolbox* *envi* yaitu *unsupervised classification*. Metodenya iso data. Pengklasifikasian dimulai dengan menentukan minimal kelas serta *file* tempat menyimpan hasil klasifikasi.

Agar dapat diolah lebih lanjut di ArcGis maka harus dikonversi lagi dari *evf* menjadi *shp*. Kemudian hasil klasifikasi disempurnakan menjadi peta tutupan lahan seperti pada gambar L3.7 – L3.14 pada lampiran 3.



Gambar 5.12. Peta tutupan lahan (*landcover*) Kota Pontianak

Tutupan lahan (*landcover*) adalah tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat diamati merupakan suatu hasil pengaturan, aktifitas dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis tutupan lahan. Tutupan lahan yang terdapat pada Kota Pontianak diklasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu: kebun campuran, lahan terbuka dan permukiman. Pengklasifikasian tutupan lahan di kota Pontianak menitikberatkan pada wilayah permukiman yang merupakan lokasi yang sangat berpotensi terhadap kerugian materi dan jiwa.

Dari peta tutupan lahan Kota Pontianak pada gambar 5.12, diperoleh wilayah permukiman seluas 80,2 km² setara 74,2%; wilayah lahan terbuka 5,9 km² setara 5,5%; dan wilayah kebun campuran seluas 21,9 km² setara 20,3%.

5.1.2 Pemodelan kerawanan banjir Kota Pontianak

Proses pembuatan model atau biasa dikenal dengan sebutan pemodelan memiliki beberapa tahap, yaitu :

a. Skoring

Setelah pembuatan dan penyiapan peta tematik setiap variabel pembentuk model kerawanan banjir Kota Pontianak maka tahap selanjutnya adalah pemberian skor setiap variabel. Skoring diberikan berdasarkan urutan tingkat pengaruh. Pemberian skor pada masing-masing variabel yang mempengaruhi banjir dilakukan untuk mengkuantifikasikan data tekstual kedalam data numerik. Skor dilakukan dengan pertimbangan dari formulasi logis urutan tingkat pengaruh setiap variabel. Semakin tinggi pengaruh suatu variabel terhadap kejadian banjir maka semakin tinggi pula nilai skor yang diberikan.

1) Pemberian skor kelas curah hujan

Daerah yang mempunyai curah hujan yang tinggi akan lebih berpengaruh terhadap kejadian banjir. Berdasarkan hal tersebut, maka pemberian skor untuk daerah curah hujan tersebut semakin tinggi. Pemberian skor kelas curah hujan dibedakan berdasarkan jenis data curah hujan tahunan, dimana data curah hujan dibagi menjadi dua kelas.

Tabel 5.1. Kelas dan skor curah hujan Kota Pontianak

Kelas Curah Hujan (mm)	Keterangan	Skor	Luas (km ²)	Persentase (%)
2500 – 3000	Tinggi	10	37	34,3
3001 – 3500	Sangat Tinggi	30	71	65,7
Total			108	100,0

2) Pemberian skor kelas tutupan lahan Kota Pontianak

Tabel 5.2. Kelas dan skor tutupan lahan Kota Pontianak

Kelas Tutupan Lahan	Skor	Luas (km ²)	Persentase (%)
Permukiman	50	80,2	74,2
Lahan Terbuka	10	5,9	5,5
Kebun Campuran	30	21,9	20,3
Total		108,0	100,0

3) Pemberian skor kelas jenis tanah

Tabel 5.3. Kelas dan skor jenis tanah Kota Pontianak

Kelas Jenis Tanah	Skor	Luas (km ²)	Persentase (%)
Aluvial	10	30	27,8
Gambut	30	78	72,2
Total		108	100,0

4) Pemberian skor kelas kemiringan lereng

Tabel 5.4. Kelas dan skor kemiringan lereng Kota Pontianak

Kelas Kemiringan Lereng (%)	Kategori	Skor	Luas (km ²)	Persentase (%)
0 – 5	Datar	30	72	66,7
6 – 15	Landai	10	36	33,3
Total			108	100,0

5) Pemberian skor kelas penggunaan lahan Kota Pontianak

Tabel 5.5. Kelas dan skor penggunaan lahan Kota Pontianak

Kelas Penggunaan Lahan	Skor	Luas (km ²)	Persentase (%)
Jasa dan industri	50	7,1	6,6
Pendidikan dan perkantoran	70	3,2	2,9
Permukiman	90	26,2	24,3
Persawahan	30	21,3	19,7
Ruang terbuka hijau (RTH)	10	50,2	46,5
Total		108,0	100,0

b. Overlay

Overlay atau tumpang tindih dilakukan untuk menentukan wilayah rawan dari beberapa variabel penentu daerah banjir dengan metode skoring, yaitu pemberian skor. Dari hasil pertampalan, daerah yang memiliki total skor terbanyak merupakan daerah yang berpotensi bahaya banjir.

c. Pembobotan

Pembobotan adalah pemberian bobot terhadap masing-masing variabel dengan didasarkan atas pertimbangan seberapa besar pengaruh masing-masing variabel terhadap kejadian banjir. Semakin besar pengaruh variabel tersebut terhadap banjir, maka besar pula bobot yang diberikan. Pembobotan dimaksudkan sebagai pemberian bobot pada masing-masing variabel. Penentuan bobot untuk masing-masing peta tematik didasarkan atas pertimbangan, seberapa besar kemungkinan terjadi banjir dipengaruhi oleh setiap variabel geografis yang akan digunakan.

Pengambilan keputusan untuk pembuatan pemodelan spasial yang seringkali menggunakan banyak variabel, pasti dihadapkan pada masalah penentuan tingkat pengaruh satu variabel terhadap variabel lain yang menyusun fungsi keputusan. Pengambil keputusan biasanya harus melakukan pembobotan untuk setiap peubah atau variabel berdasarkan pengaruh atau nilai penting variabel yang bersangkutan. Variabel-variabel tersebut kemudian dibandingkan berdasarkan pengaruhnya. Variabel yang memiliki bobot tertinggi merupakan variabel yang sangat mempengaruhi banjir Kota Pontianak sedangkan bobot yang terkecil menunjukkan variabel yang kecil pengaruhnya.

1) Metode *trial and error* (formulasi logis)

Pembobotan (analisis sensitifitas) pada penelitian ini merupakan langkah selanjutnya adalah membuat persamaan yang dibentuk oleh semua faktor dengan pembobotan berdasarkan pengaruhnya. Besar-kecilnya bobot setiap variabel kemudian diranking berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap bahaya banjir. Besarnya nilai kelas dan pembobotan diurutkan berdasarkan besar kecilnya

pengaruh variabel tersebut terhadap terjadinya banjir dan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.6. Pembobotan variabel indikator banjir cara ranking

No	Variabel Indikator Banjir	Kelas	Bobot
1	Curah Hujan (CH)	Curah hujan dengan interpolasi <i>Spline</i> , dibagi atas 2 kelas. Tinggi dan sangat tinggi yaitu 2500 – 3000 dan di atas 3000 mm	(a)
2	Penutup Lahan (Lc)	Perumahan, Lahan terbuka dan kebun campuran	(b)
3	Jenis Tanah (JT)	Alluvial dan gambut	(c)
4	Kemiringan Lereng (KL)	Terbagi atas 2 kelas, yaitu : 0%-5% dan 5%-15%	(d)
5	Penggunaan Lahan (Lu)	Jasa dan industri, Pendidikan dan perkantoran, Perumahan, Persawahan dan Ruang terbuka hijau	(e)

Setelah dilakukan pembobotan kemudian dilakukan klasifikasi tingkat kerawanan banjir yaitu dengan cara mengalikan nilai variabel dengan bobot variabel, dengan menggunakan formulasi logis atau *trial and error method*.

2) Metode AHP

Penentuan bobot pengaruh setiap peubah banjir Kota Pontianak ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP merupakan teori pengukuran melalui perbandingan antara dua kriteria berpasangan yang bergantung pada penilaian dari pendapat ahli untuk mendapatkan skala prioritas.

Pemberian nilai bobot pada Model Rawan Banjir juga bisa diperoleh melalui penilaian dari beberapa ahli atau pakar (*expert*) dengan metode atau cara *analytical hierarchy process* (AHP). Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

a) Membuat matriks perbandingan berpasangan (*matrix Pairwise Comparison*)

Pada pembobotan atau penilaian perbandingan berpasangan ini berlaku hukum aksioma *reciprocal*, artinya apabila suatu elemen A dinilai lebih esensial (5) dibandingkan dengan elemen B, maka B lebih *esensial* 1/5 dibandingkan dengan

elemen A. Apabila elemen A sama pentingnya dengan B maka masing-masing bernilai = 1.

Dalam penelitian ini matriks *pairwise comparison* dibuat berdasarkan penilaian dari dua orang pakar di bidang banjir dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 5.7. *Pairwise comparison matrix* pakar 1

	CH	Lc	Lu	KL	JT
CH	1	9	3	3	5
Lc		1	1/3	1/3	1/2
Lu			1	1	3
KL				1	3
JT					1

Tabel 5.8. *Pairwise comparison matrix* pakar 2

	CH	Lc	Lu	KL	JT
CH	1	7	3	5	9
Lc		1	1/3	1/2	2
Lu			1	2	3
KL				1	2
JT					1

Dengan:

- CH = Curah hujan
- Lu = *Landuse*
- JT = Jenis Tanah
- Lc = *Landcover*
- KL = Kemiringan lereng

b) Uji Konsistensi

Lakukan uji konsistensi dari kedua orang pakar tersebut untuk memilih pendapat mana yang paling konsisten yaitu nilai *Consistency Index* < 01. Tahapan uji konsistensi adalah sebagai berikut:

Lengkapi matrik *pairwise comparison* dari kedua pakar di atas dengan membuat *reciprocal matrix*.

Tabel 5.9. *Reciprocal matrix* pakar 1

	CH	Lc	Lu	KL	JT	
CH	1	9	3	3	5	
Lc	1/9	1	1/3	1/3	1/2	
Lu	1/3	3	1	1	3	
KL	1/3	3	1	1	3	
JT	1/5	2	1/3	1/3	1	
Σ	1,98	18,00	5,67	5,67	12,50	

Tabel 5.10. *Reciprocal matrix* pakar 2

	CH	Lc	Lu	KL	JT	
CH	1	7	3	5	9	
Lc	1/7	1	1/3	1/2	2	
Lu	1/3	3	1	2	3	
KL	1/5	2	1/2	1	2	
JT	1/9	1/2	1/3	1/2	1	
Σ	1,79	13,50	5,17	9,00	17,00	

Buat *Normalized Weight Matrix* dengan membagi tiap elemen matriks dengan jumlah tiap kolom. Jumlahkan elemen tiap baris, *vector eigen* dapat dihitung dengan membagi jumlah baris elemen dibagi dengan jumlah variabel.

Tabel 5.11. *Normalized weight matrix* pakar 1

	CH	Lc	Lu	KL	JT	Σ	<i>Eigen Vector</i>
CH	0,5056	0,5000	0,5294	0,5294	0,4000	2,4644	0,4929
Lc	0,0562	0,0556	0,0588	0,0588	0,0400	0,2694	0,0539
Lu	0,1685	0,1667	0,1765	0,1765	0,2400	0,9281	0,1856
KL	0,1685	0,1667	0,1765	0,1765	0,2400	0,9281	0,1856
JT	0,1011	0,1111	0,0588	0,0588	0,0800	0,4099	0,0820

Menghitung *Eigen Value* terbesar, λ_{\max} dengan mengalikan jumlah nilai tiap kolom pada *reciprocal matrix* dengan tiap *Eigen vector*.

$$[1,9778 \quad 18,0000 \quad 5,6667 \quad 5,6667 \quad 12,5000] * \begin{bmatrix} 0,4929 \\ 0,0539 \\ 0,1856 \\ 0,1856 \\ 0,0821 \end{bmatrix} = [5,0731]$$

$$\lambda_{\max} = 5,0731$$

$$\text{Menghitung Consistency Index, } CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5,0731 - 5}{5 - 1} = 0,0183$$

Karena jumlah variabel ada 5, $n = 5$, maka nilai $RI = 1,12$

$$\text{Hitung Consistency Ratio, CR, yaitu } CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,0183}{1,12} = 0,0163$$

Tabel 5.12. *Normalized weight matrix* pakar 2

	CH	Lc	Lu	KL	JT	Σ	Eigen Vector
CH	0,5595	0,5185	0,5806	0,5556	0,5294	2,7436	0,5487
Lc	0,0799	0,0741	0,0645	0,0556	0,1176	0,3917	0,0783
Lu	0,1865	0,2222	0,1935	0,2222	0,1765	1,0010	0,2002
KL	0,1119	0,1481	0,0968	0,1111	0,1176	0,5856	0,1171
JT	0,0622	0,0370	0,0645	0,0556	0,0588	0,2781	0,0556

Menghitung *Eigen Value* terbesar, λ_{max} dengan mengalikan jumlah nilai tiap kolom pada *reciprocal matrix* dengan tiap *Eigen vector*.

$$[1,7873 \quad 13,5000 \quad 5,1667 \quad 9,0000 \quad 17,0000] * \begin{bmatrix} 0,5487 \\ 0,0783 \\ 0,2002 \\ 0,1171 \\ 0,0556 \end{bmatrix} = [5,0723]$$

$$\lambda_{max} = 5.0723$$

$$\text{Menghitung Consistency Index, } CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5,0723 - 5}{5 - 1} = 0,0181$$

$$\text{Hitung Consistency Ratio, CR, yaitu } CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,0181}{1,12} = 0,0161$$

Berdasarkan uji konsistensi terhadap pakar 1 dan 2 diperoleh hasil bahwa kedua pakar memberikan penilaian yang konsisten terhadap matrik perbandingan berpasangan yang membandingkan pengaruh setiap variabel pembentuk model kerawanan banjir Kota Pontianak. Nilai konsistensi rasio pakar 1 adalah 0,0163 sedangkan pakar 2 adalah 0,0161.

Adapun ranking bobot pengaruh variabel banjir dari pakar 1 adalah: Curah hujan sebesar 0,4929; penggunaan lahan sebesar 0,1856; kemiringan lereng sebesar 0,1856; variabel jenis tanah sebesar 0,0821; dan yang terkecil bobot pengaruhnya terhadap banjir Kota Pontianak adalah tutupan lahan adalah 0,0539.

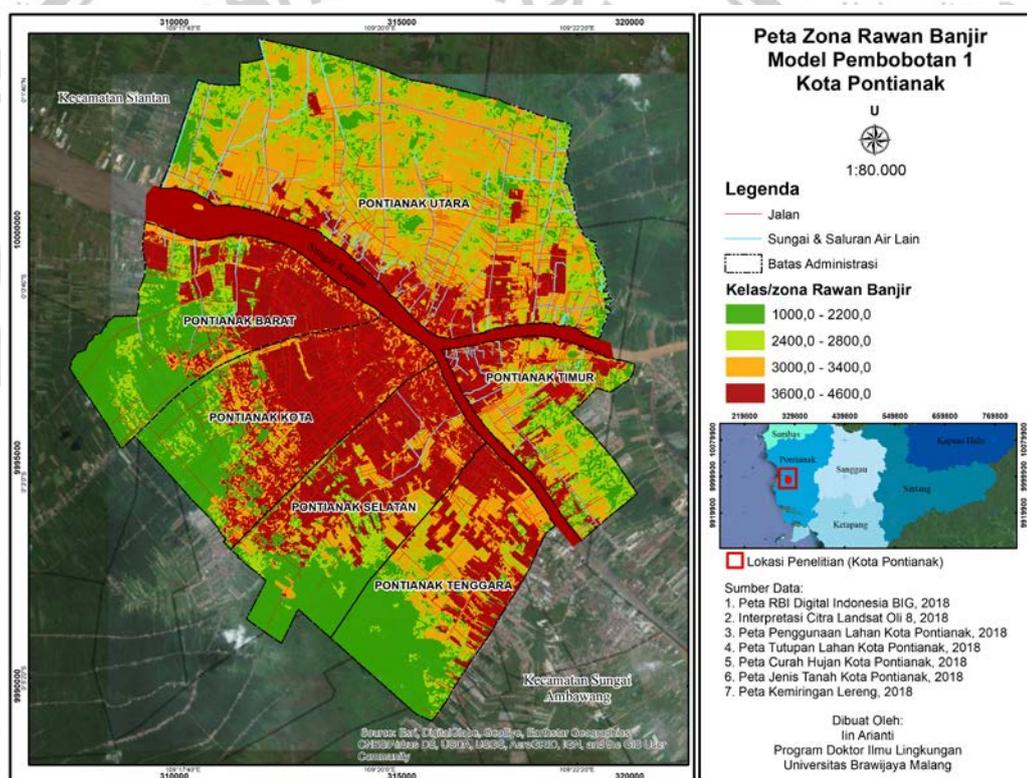
Ranking atau urutan bobot pengaruh variabel menurut pakar 2 adalah: Curah hujan sebesar 0,5487; penggunaan lahan sebesar 0,2002; kemiringan lereng sebesar 0,1171; kemudian tutupan lahan sebesar 0,0783 dan yang terkecil adalah bobot pengaruhnya adalah variabel jenis tanah sebesar 0,0556.

Klasifikasi tingkat rawan banjir dilakukan untuk menentukan besarnya pengaruh bahaya banjir. Klasifikasi tingkat rawan banjir dapat dibedakan menjadi beberapa tingkat, contohnya: aman, kurang aman, rawan dan sangat rawan. Tingkat rawan banjir ini dibuat untuk mengetahui distribusi bahaya banjir, yang selanjutnya digunakan untuk mencegah kerugian yang dialami oleh penduduk setempat (*preventive action*). Klasifikasi tingkat rawan banjir didasarkan oleh 5 variabel indikator banjir, yaitu: curah hujan, penutup lahan, tata guna lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng. Adapun wilayah tingkat rawan banjir dengan meng-*overlay*-kan *layer-layer* satuan tata guna lahan, curah hujan, jenis tanah dan tutupan lahan serta kemiringan lereng. *Overlay* ataupun pertampalan dari beberapa peta dan telah melalui proses penyekoran dan pembobotan sehingga diperoleh peta akhir yang berupa peta tingkat kerawanan banjir di Kota Pontianak Kalimantan Barat merupakan output penelitian. Adapun *outcome* penelitian merupakan respon dan rekomendasi kepada instansi terkait dalam penanganan wilayah rawan banjir di Kota Pontianak, Kalimantan Barat.

Berikut adalah proses pembuatan model:

- 1) Pembuatan dan pengkoreksian masing-masing data parameter atau variabel
- 2) Pemberian nilai skor pada masing-masing kategori/kelas tiap variabel
- 3) Penggabungan data variabel/*overlay* data
- 4) Pemberian bobot nilai kerawanan banjir menurut pembagian nilai yang telah ditentukan sebelumnya.

- a) Model 1: Berdasarkan *trial and error* atau formulasi logis. Setiap nilai variabel berdasarkan skoring dikalikan dengan nilai 20. Hal ini dikarenakan terdapat lima (5) variabel sehingga dengan memberikan bobot 20% pada setiap variabel menunjukkan bahwa semua variabel kondisi alamiah atau kondisi fisik di lokasi penelitian memiliki tingkat pengaruh yang sama terhadap kerawanan banjir.
- $$([\text{Skor}_{Lu}] * 20) + ([\text{Skor}_{KL}] * 20) + ([\text{Skor}_{JT}] * 20) + ([\text{Skor}_{CH}] * 20) + ([\text{Skor}_{Lc}] * 20)$$
- artinya setiap variabel memiliki tingkat pengaruh yang sama besarnya yaitu sebesar 20%.

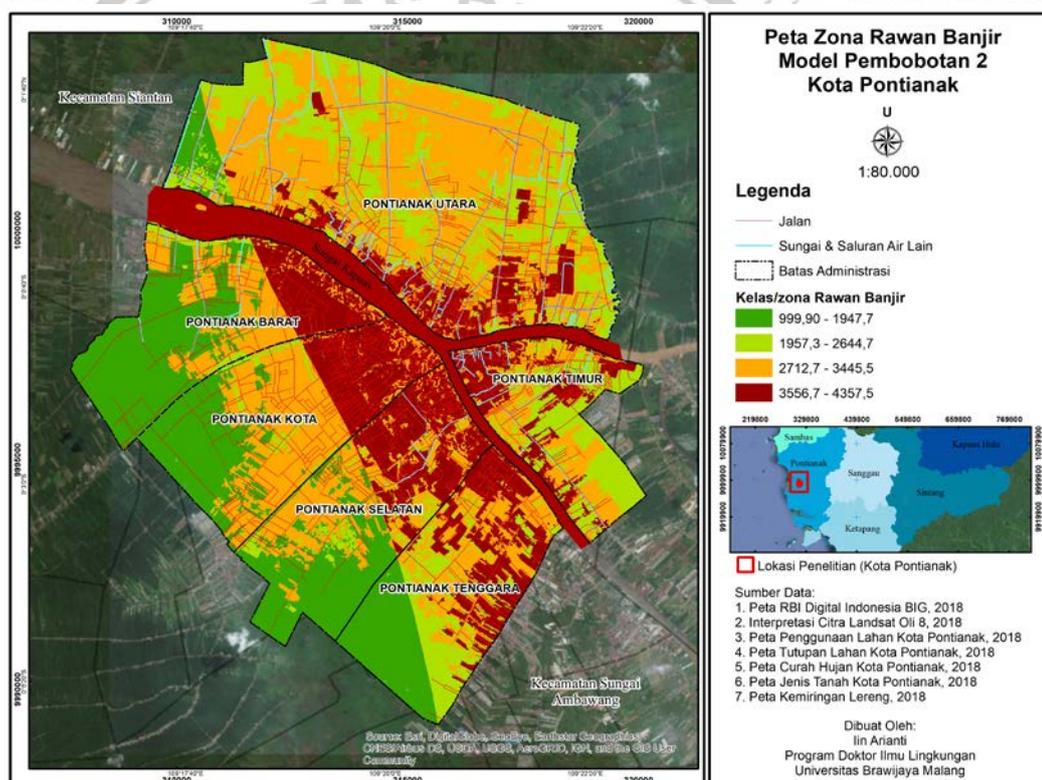


Gambar 5.13. Peta pemodelan kerawanan banjir 1

- b) Model 2: pembobotan $54,87 \times \text{curah hujan} + 20,02 \times \text{landuse} + 11,71 \times \text{kelas lereng} + 7,83 \times \text{landcover} + 5,56 \times \text{jenis tanah}$ (berdasarkan penilaian pakar dengan cara AHP)

$(54,87 * [\text{skor_CH}]) + (20,02 * [\text{Skor_Lu}]) + (11,71 * [\text{Skor_KL}]) + (7,83 * [\text{Skor_Lc}]) + (5,56 * [\text{Skor_JT}])$ atau
 $(([\text{Skor_Lu}] * 20,02) + ([\text{Skor_KL}] * 11,71) + ([\text{Skor_JT}] * 5,56) + ([\text{skor_CH}] * 54,87) + ([\text{Skor_LC}] * 7,83))$ sesuai variabel yang dioverlay atau ditumpang susun.

Pada model 2, setiap variabel memiliki Nilai Pembobotan yang berbeda, bila diurutkan dari nilai bobot tertinggi-terendah: curah hujan, *landuse*, kemiringan lereng, *landcover*, jenis tanah.

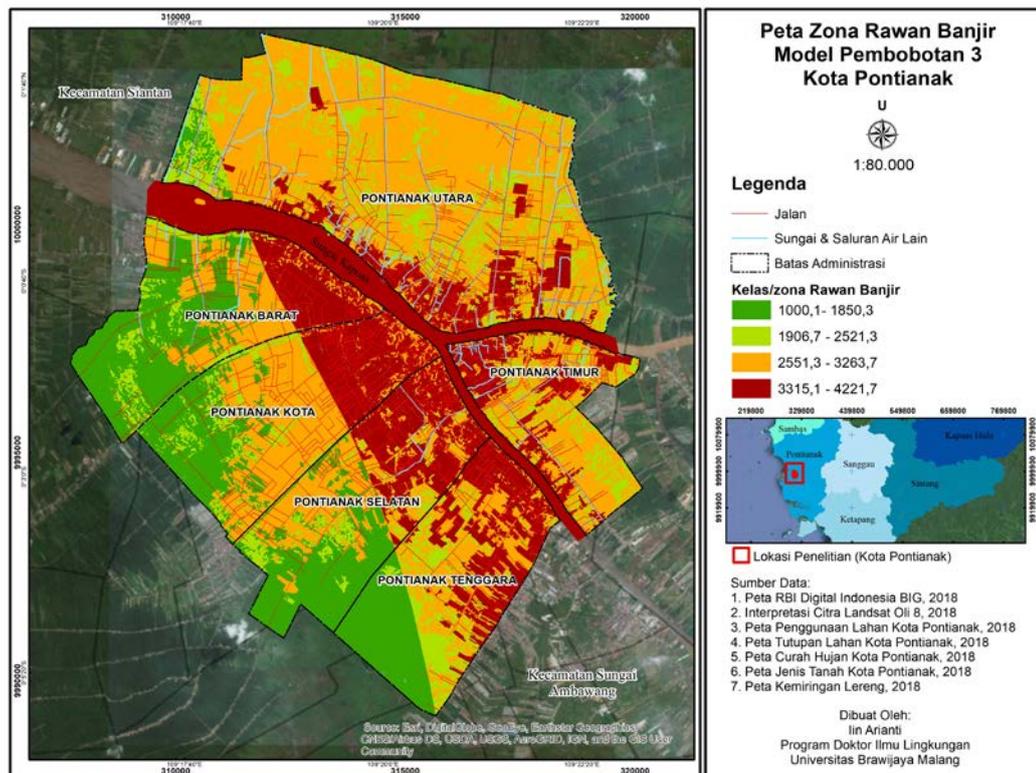


Gambar 5.14. Peta pemodelan kerawanan banjir 2

c) Model 3: pembobotan $49,29 \times$ curah hujan $+ 18,56 \times$ *landuse* $+ 18,56 \times$ kelas lereng $+ 8,21 \times$ jenis tanah $+ 5,39 \times$ *landcover* (berdasarkan penilaian pakar 2 dengan cara AHP)

$$(49,29 * [\text{skor_CH}] + (18,56 * [\text{Skor_Lu}] + (18,56 * [\text{Skor_KL}] + (8,21 * [\text{Skor_JT}] + (5,39 * [\text{Skor_Lc}) \text{ atau}$$

$$([\text{Skor_Lu}] * 18,56) + ([\text{Skor_KL}] * 18,56) + ([\text{Skor_JT}] * 8,21) + ([\text{skor_CH}] * 49,29) + ([\text{Skor_Lc}] * 5,39)$$



Gambar 5.15. Peta pemodelan kerawanan banjir 3

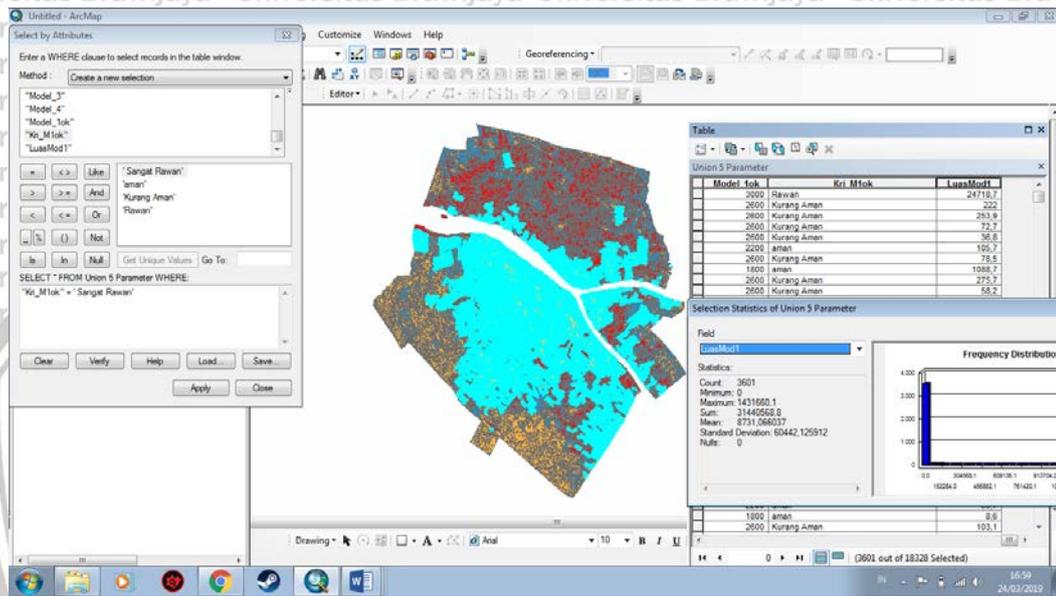
- Pada tiap model terdapat jumlah hasil nilai, kemudian dikelaskan berdasarkan tingkat kerawannya (nilai rendah dikategorikan aman dan nilai tinggi dikategorikan sangat rawan)
- Hasil berupa peta pemodelan yaitu model 1, model 2 dan model 3 seperti pada gambar 5.13, gambar 5.14, gambar 5.15.

Luas area kerawanan banjir model 1, 2, 3.

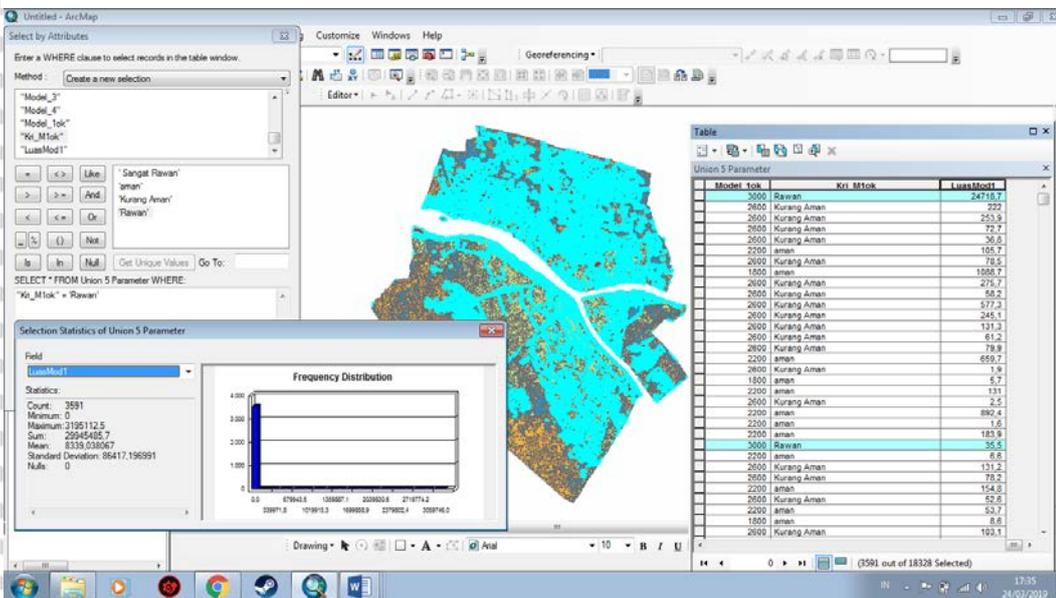
1) Model 1

Tabel 5.13. Luas kerawanan banjir Model 1

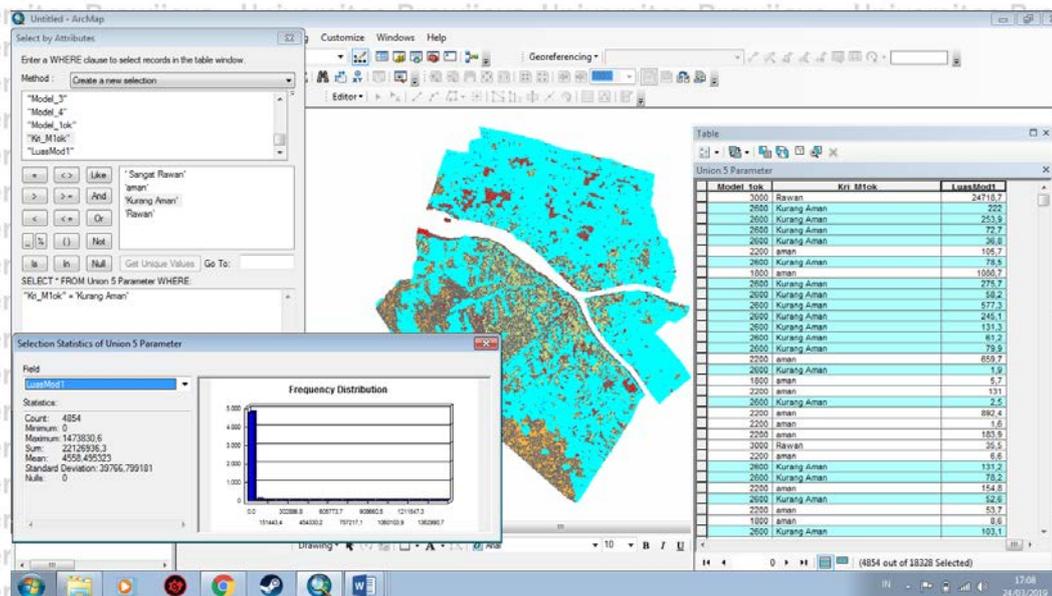
Kelas Kerawanan	Luas (m ²)	Persentase (%)
Sangat Rawan	31.440.568,8	29,11
Rawan	29.945.485,7	27,73
Kurang Aman	22.126.936,3	20,49
Aman	24.490.328,7	22,67
Total	108.003.319,8	100,00



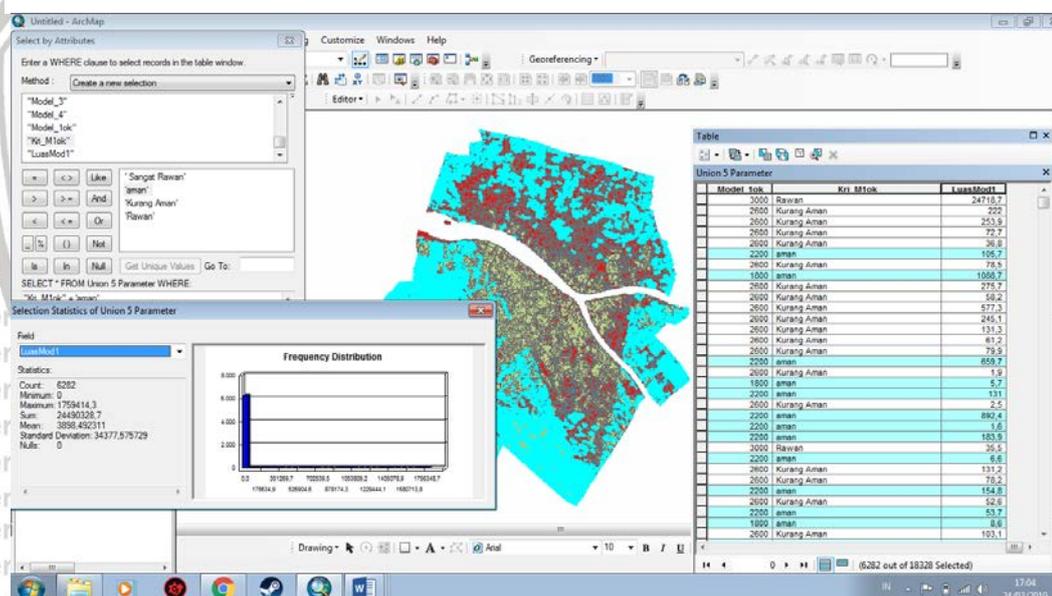
Gambar 5.16. Tingkat sangat rawan luas area kerawanan banjir model 1



Gambar 5.17. Tingkat rawan luas area kerawanan banjir model 1



Gambar 5.18. Tingkat kurang aman luas area kerawanan banjir model 1



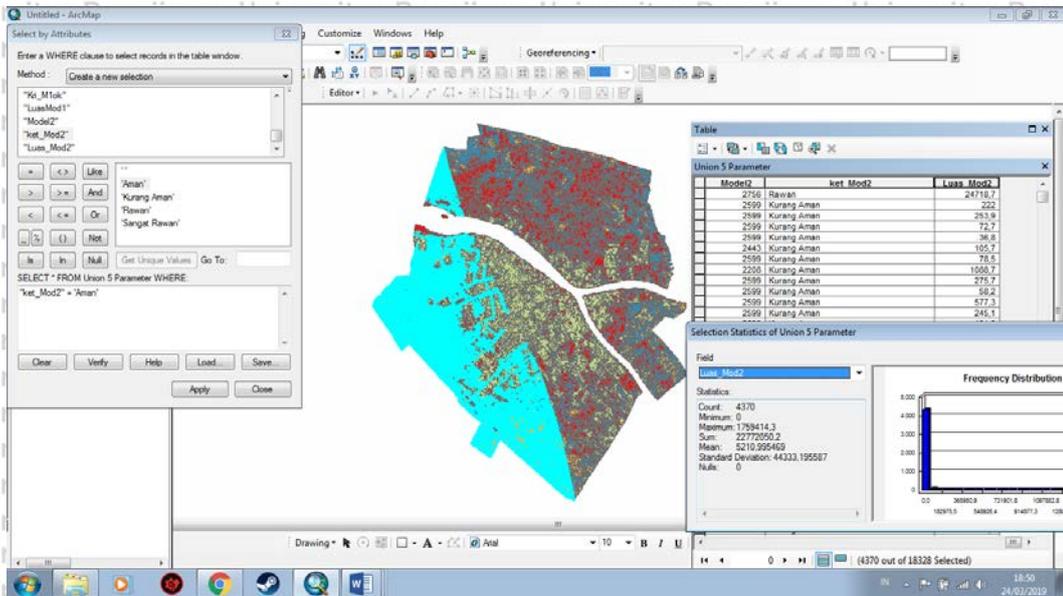
Gambar 5.19. Tingkat aman luas area kerawanan banjir model 1

2) Model 2

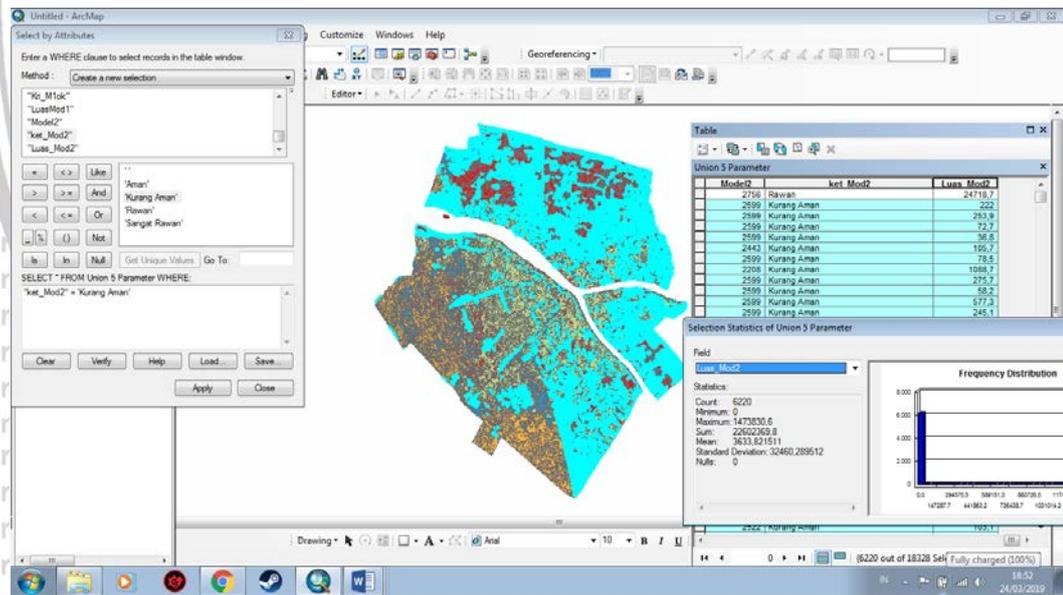
Tabel 5.14. Luas kerawanan banjir Model 2

Kelas Kerawanan	Luas (m ²)	Persentase (%)
Sangat Rawan	21.379.181,5	19,79
Rawan	41.247.692,9	38,19
Kurang Aman	22.602.369,8	20,92
Aman	22.772.050,22	21,08
Total	108.001.277,1	100,00

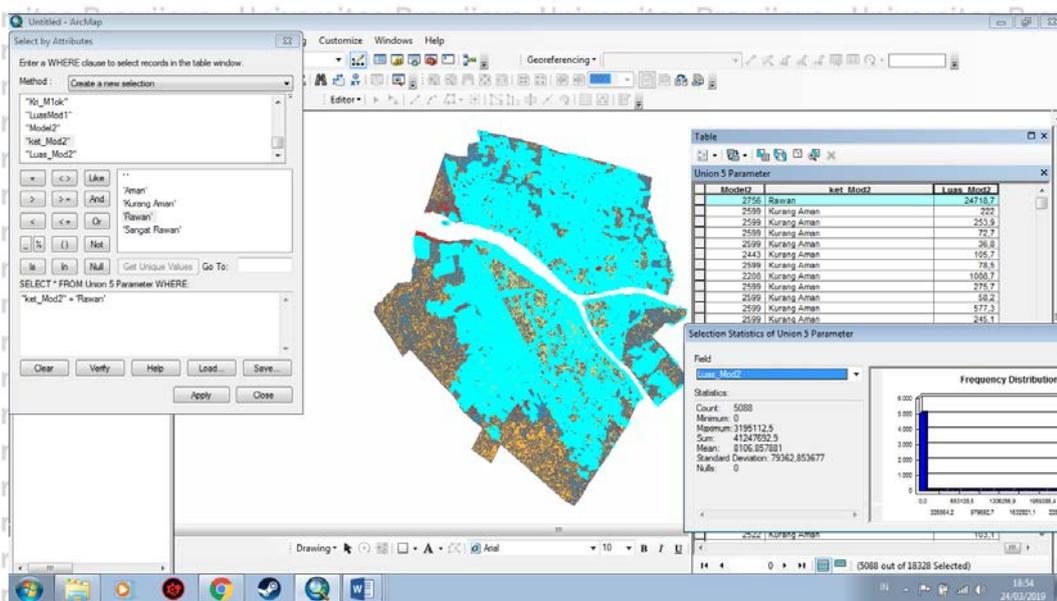
Adapun cara menghitung luas kerawanan banjir adalah sebagai berikut:



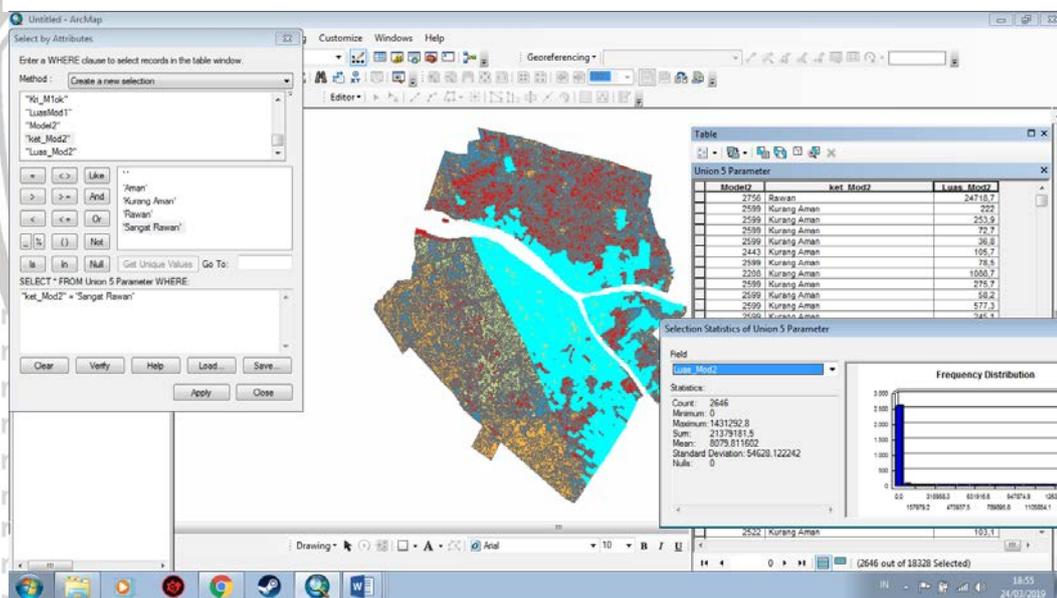
Gambar 5.20. Tingkat aman luas area kerawanan banjir model 2



Gambar 5.21. Tingkat kurang aman luas area kerawanan banjir model 2



Gambar 5.22. Tingkat rawan luas area kerawanan banjir model 2

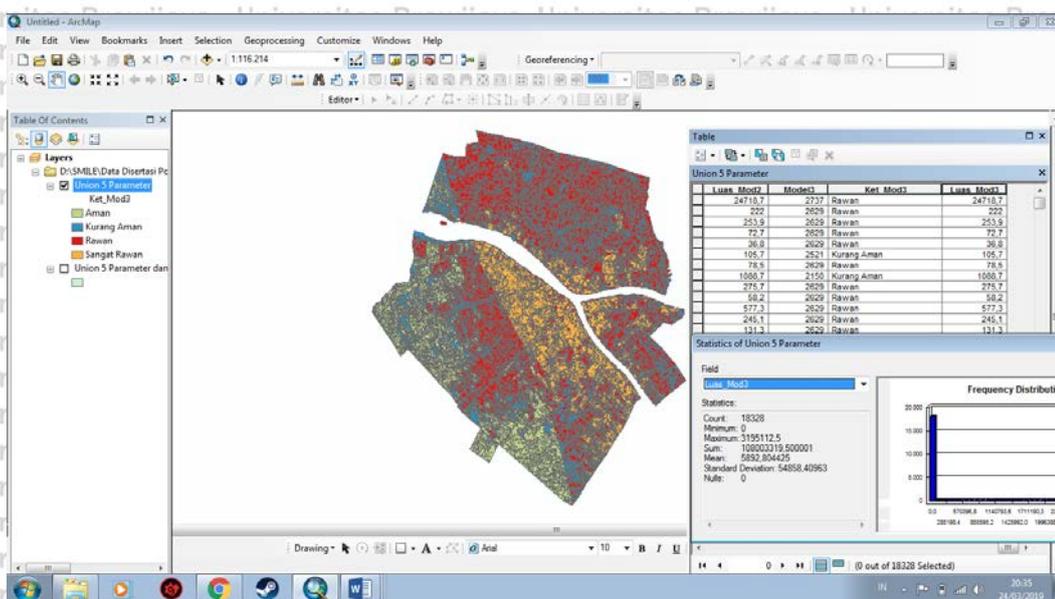


Gambar 5.23. Tingkat sangat rawan luas area kerawanan banjir model 2

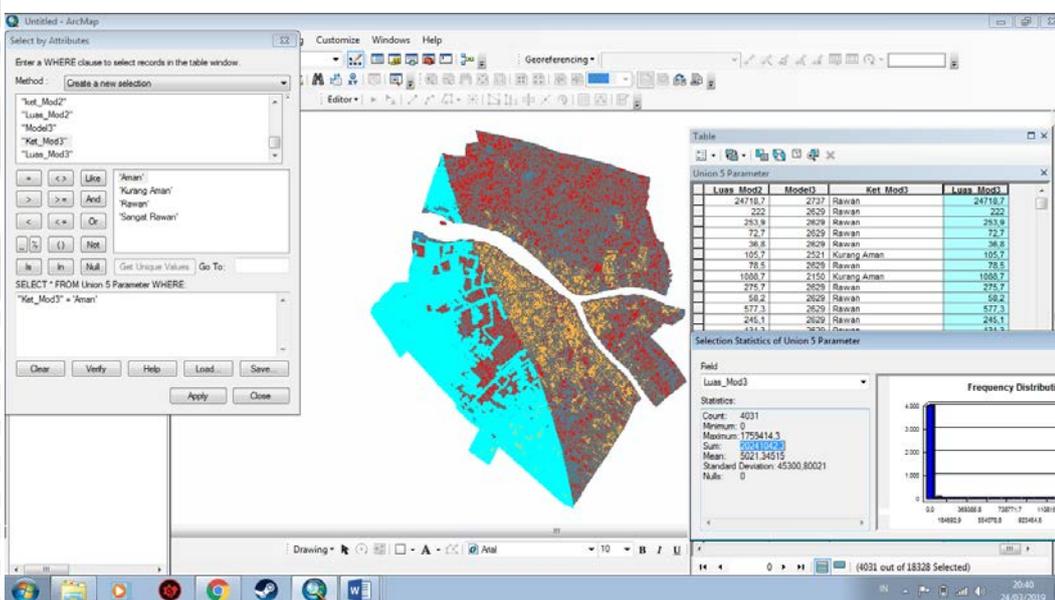
3) Model 3

Tabel 5.15. Luas Kerawanan Banjir Model 3

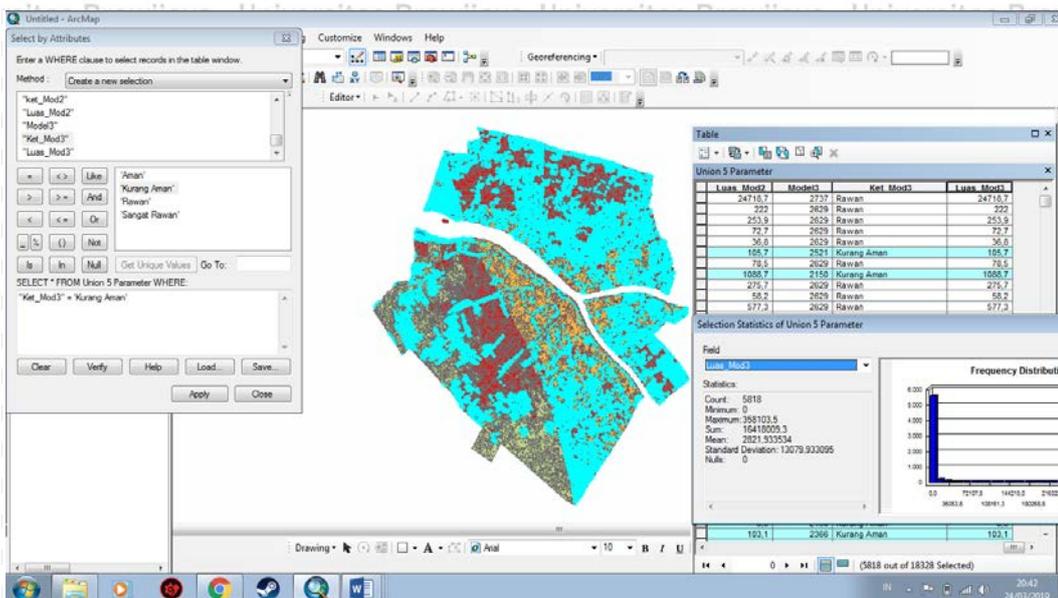
Kelas Kerawanan	Luas (m ²)	Persentase (%)
Sangat Rawan	21.908.723,3	20,28
Rawan	49.435.544,6	45,77
Kurang Aman	16.418.009,3	15,21
Aman	20.241.042,3	18,74
Total	108.003.319,5	100,00



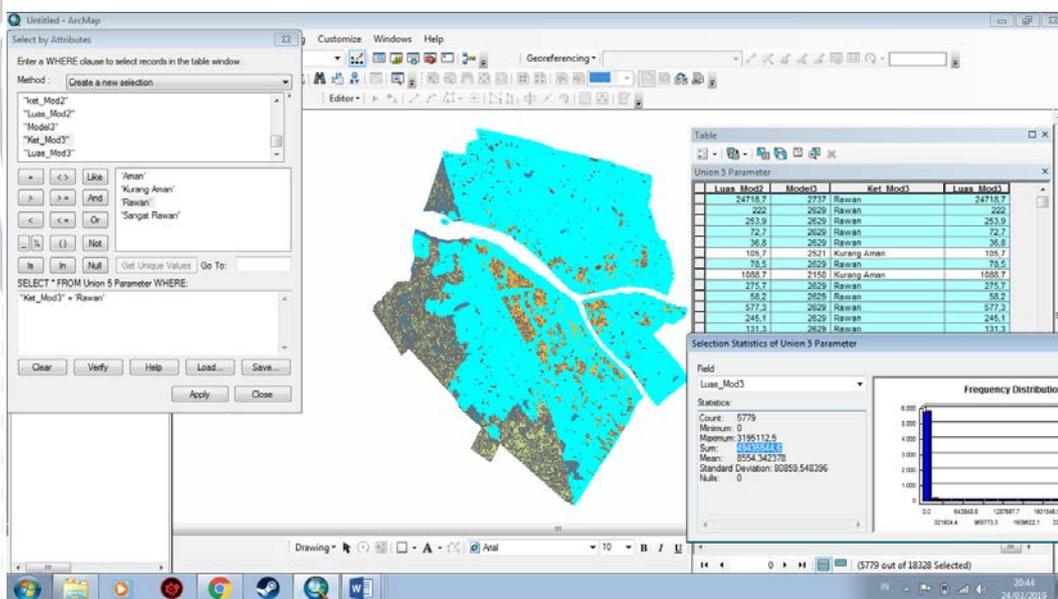
Gambar 5.24. Luas total area kerawanan banjir model 3



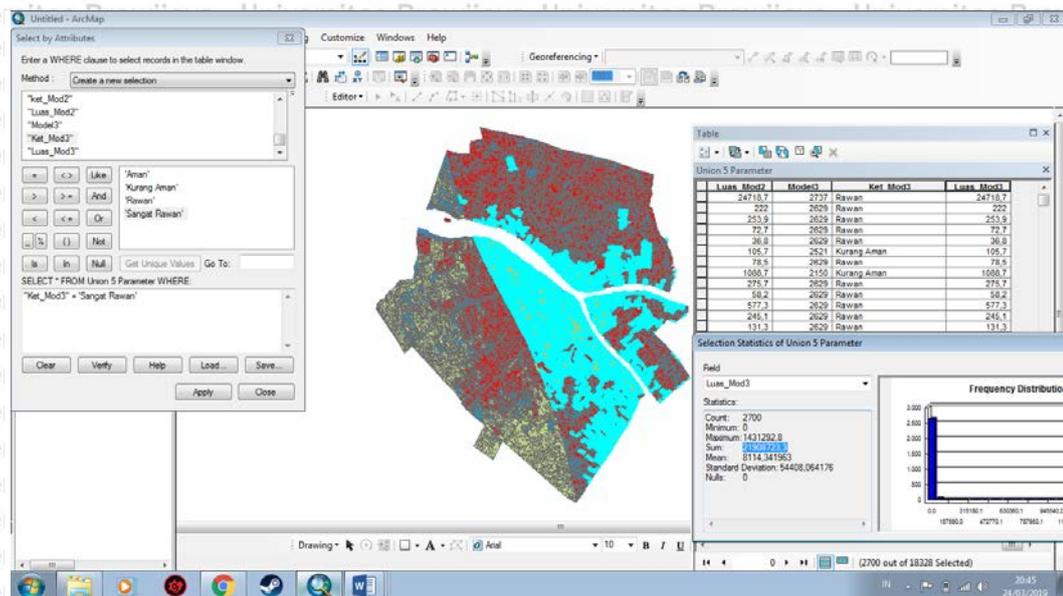
Gambar 5.25. Tingkat aman luas area kerawanan banjir model 3



Gambar 5.26. Tingkat kurang aman luas area kerawanan banjir model 3



Gambar 5.27. Tingkat rawan luas area kerawanan banjir model 3

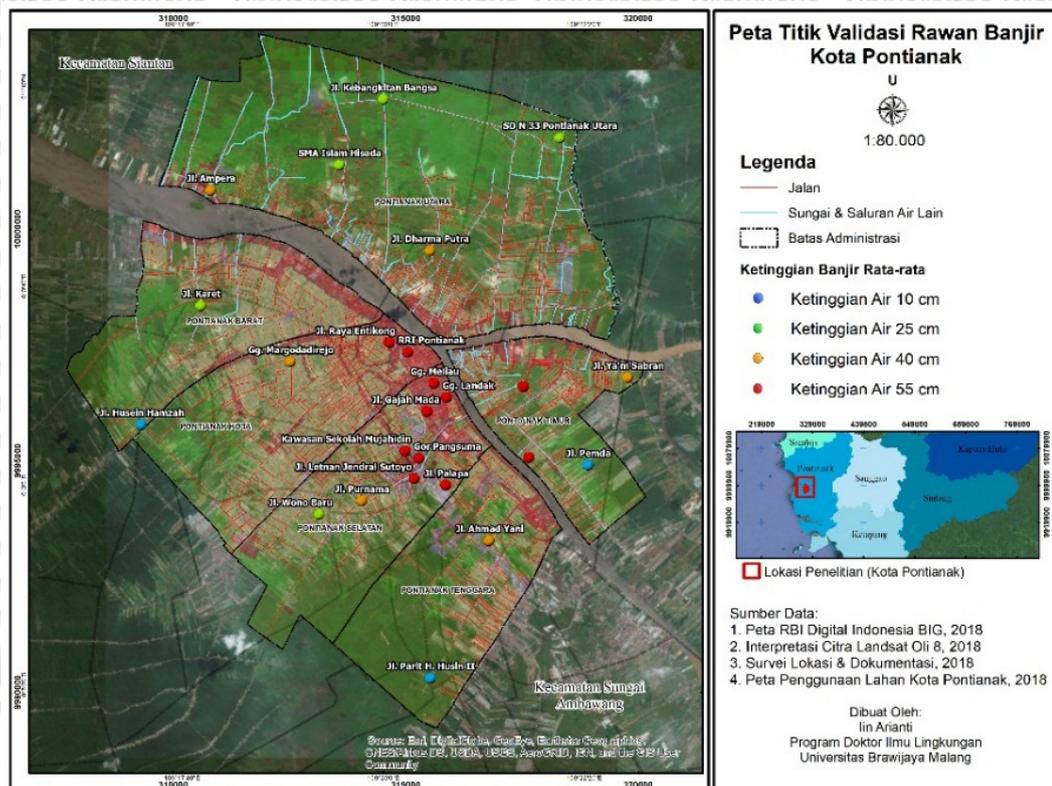


Gambar 5.28. Tingkat sangat rawan luas area kerawanan banjir model 3

5.1.3 Validasi model

Proses validasi yang dilakukan dengan *assessment*/penaksiran ketelitian hasil interpretasi citra secara visual dan hasil pemodelan dari data skoring dan pembobotan dengan melakukan cek lapangan dan menerapkan tabel matriks *error*.

Hasil titik acuan dan komentasi hasil survei lapangan berdasarkan data primer dan wawancara dalam bentuk peta titik validasi rawan banjir yang kemudian di komparasikan dengan peta model kerawanan banjir model 1, 2 dan 3. Adapun peta titik validasi kerawanan banjir Kota Pontianak dapat dilihat pada gambar 5.29.



Gambar 5.29. Peta titik validasi model kerawanan banjir Kota Pontianak

Prosedur Validasi Model:

- 1) Menyiapkan data peta acuan yang telah dibuat sebelumnya dan diolah menjadi peta titik survei lapangan model 1, 2, dan 3.
- 2) Melakukan pengecekan lapangan dengan mengunjungi tiap-tiap lokasi titik acuan pada peta model yang telah dibuat berdasarkan model 1, 2, dan 3.
- 3) Membuat tabel data hasil pengecekan lapangan. Tabel data hasil pengecekan lapangan dapat dilihat pada tabel 5.17.

Tabel 5.16. Data hasil pengecekan lapangan

No.	Nama Lokasi	Kelas Ketinggian Air di Peta Model 1 (cm)	Kelas Ketinggian Air di Peta Model 2 (cm)	Kelas Ketinggian Air di Peta Model 3 (cm)	Ketinggian Air di Lapangan (cm)	Benar (B) / Salah (S)	Foto
1.	Jl. Gajah Mada	25	40	40	25	B/S/S	
2.	Jl. Purnama	55	40	40	40	S/B/B	
3.	Jl. Wono Baru	55	55	55	55	B/B/B	
4.	SDN 33 Pontianak Utara	25	25	25	25	B/B/B	
5.	SMA Islam Hisada	25	25	25	25	B/B/B	

Lanjutan tabel 5.16

6.	Jl. Entikong	55	55	55	55	B/B/B	
7.	Gg. Meliau	55	55	55	55	B/B/B	
8.	Jl. Ampera	40	40	40	40	B/B/B	
9.	Jl. Perintis Kemerdekaan	40	40	40	55	S/S/S	
10.	Jl. Karet	25	25	10	25	B/B/S	
11.	Kawasan Sekolah Mujahidin	55	55	55	55	B/B/B	

Lanjutan tabel 5.16

12.	Jl. Ahmad Yani	40	40	40	40	B/B/B	
13.	Jl. Palapa	55	55	55	55	B/B/B	
14.	Gg. Margodadirejo	55	40	40	40	S/B/B	
15.	Kantor Kelurahan Banjar Serasan	55	55	55	55	B/B/B	
16.	Jl. Dharma Putra	40	40	40	40	B/B/B	
17.	Jl. Letnan Jendral Sutoyo	55	55	55	55	B/B/B	

Lanjutan tabel 5.16

18.	Gor Pangsuma	55	55	55	55	B/B/B	
19.	RRI Pontianak	55	55	55	55	B/B/B	
20.	Gg. Landak	55	55	55	55	B/B/B	
21.	Jl. Pemda	10	25	25	10	B/S/S	
22.	Jl. Ya M. Sabran	25	25	40	25	B/B/S	
23.	Jl. Husein Hamzah	10	10	10	10	B/B/B	



Lanjutan tabel 5.16

24.	Jl. Kebangkitan Bangsa	25	25	25	25	B/B/B	
25.	Jl. Parit H. Husin II	10	25	25	10	B/S/S	



4) Melakukan hitungan matriks error untuk memperoleh akurasi pengguna (*user accuracy*), akurasi pembuat (*producer accuracy*) dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) serta akurasi Kappa yang berdasarkan persamaan 2.10.

5) Pada hasil klasifikasi diperoleh 4 pembagian ketinggian air banjir yaitu:

A: Ketinggian Air 10 cm; B: Ketinggian Air 25 cm;

C: Ketinggian Air 40 cm; D: Ketinggian Air 55 cm;

Tidak ada ketentuan berapa jumlah sampel pada tiap pembagian ketinggian air, baik untuk ketinggian 10 cm hingga 55 cm yang ditentukan saat proses survei di

lapangan dan berbanding lurus dengan hasil peta. Pembagian dibuat berdasarkan

data titik hasil survei dalam peta titik validasi rawan banjir dibuat sebagai sumber

data utama pembuatan data peta yang kemudian dibuat analisis perbandingan

dengan data pembobotan 5 variabel yang berupa peta titik rawan banjir dan dilihat

apakah data hasil survei dengan model peta rawan banjir sesuai atau tidak. Fungsi

dari survei adalah untuk acuan koreksi hasil model, apakah pemodelan yang

dibuat sudah benar-benar sesuai dengan tujuan penelitian atau belum. Data

survei ini kemudian dibandingkan dengan menggunakan matrik *error* model 1, 2,

dan 3.

Tabel 5.17. Matrik *error* model 1

	Hasil Cek Lapangan				Total sampel	<i>User Accuracy</i> (%)	<i>Error Comission</i> (%)
	A 10 cm	B 25 cm	C 40 cm	D 55 cm			
A	3	0	0	0	3	100.0	0.0
B	0	5	0	0	5	100.0	0.0
C	0	1	3	2	6	50.0	50.0
D	0	0	1	10	11	90.9	9.1
Total	3	6	4	12	25		
<i>Prod. Accuracy</i> (%)	100.0	83.3	75.0	83.3	OA	84.0	
<i>Error Omission</i> (%)	0.0	16.7	25.0	16.7	Kappa	76.7	

Cara perhitungan *User accuracy* : (yang benar / jumlah baris sampel)

$$A = B/S \times 100\% \quad A = 3 : 3 = 100.00$$

$$B = B/S \times 100\% \quad B = 5 : 5 = 100.00$$

$$C = B/S \times 100\% \quad C = 3 : 6 = 50.00$$

$$D = B/S \times 100\% \quad D = 10 : 11 = 90.90$$

Cara perhitungan *Producer accuracy*: (yang benar / total kolom ybs)

$$A = B/S \times 100\% \quad A = 3 : 3 = 100.00$$

$$B = B/S \times 100\% \quad B = 5 : 6 = 83.33$$

$$C = B/S \times 100\% \quad C = 3 : 4 = 75.00$$

$$D = B/S \times 100\% \quad D = 10 : 12 = 83.33$$

Adapun *Overall accuracy*: $(3 + 5 + 3 + 10) / 25 * 100\% = 84 \%$

Adapun perhitungan Kappa koefisien adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^k X_{ii} = 3 + 5 + 3 + 10 = 21$$

$$\sum_{i=1}^k (X_{i+} * X_{+i}) = 3 * 3 + 5 * 6 + 6 * 4 + 11 * 12 = 195$$

$N = 25$ maka $K = (25 * 21 - 195) / (25^2 - 195) = 330 / 430 = 0,7674$

Maka nilai Kappa *accuracy* untuk model 1 adalah 76,7%

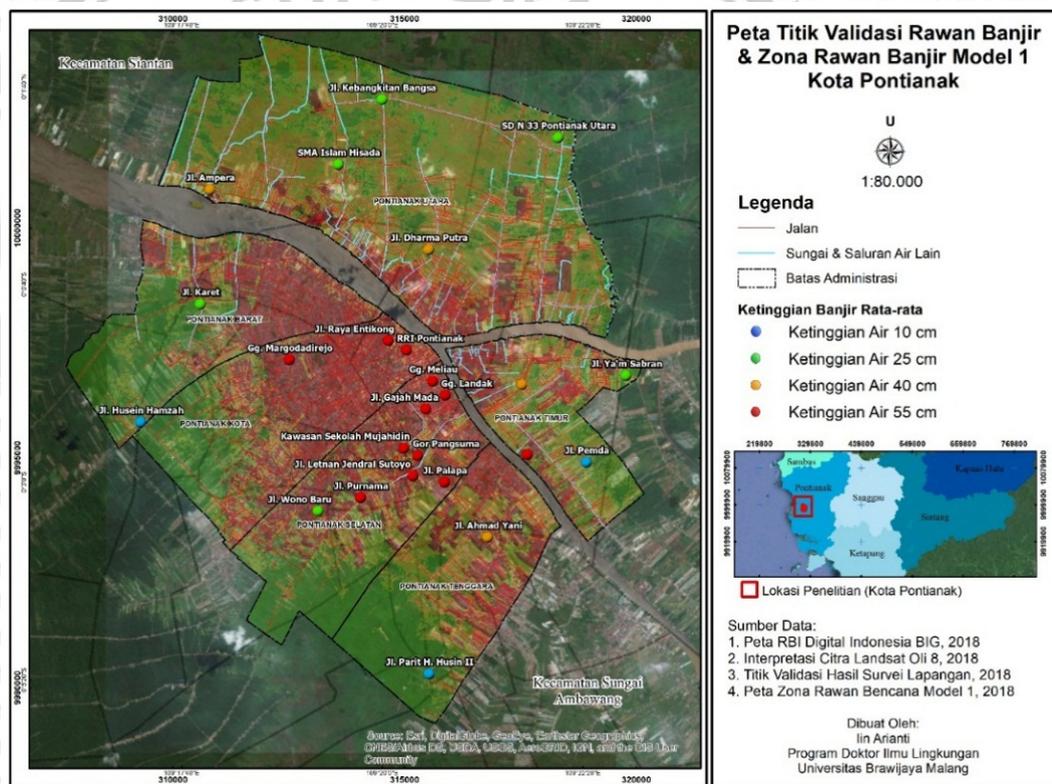
Tabel 5.18. Matrik *error* model 2

Hasil Cek Lapangan						User Accuracy (%)	Error Comission (%)
	A 10 cm	B 25 cm	C 40 cm	D 55 cm	Total sampel		
A	1	2	0	0	3	33.3	66.7
B	0	4	1	0	5	80.0	20.0
C	0	1	5	0	6	83.3	16.7
D	0	0	1	10	11	90.9	9.1
Total	1	7	7	10	25		
Prod. Accuracy (%)	100.0	57.1	71.4	100.0	OA	80.0	
Error Omission (%)	0.0	42.9	28.6	0.0	Kappa	71.3	

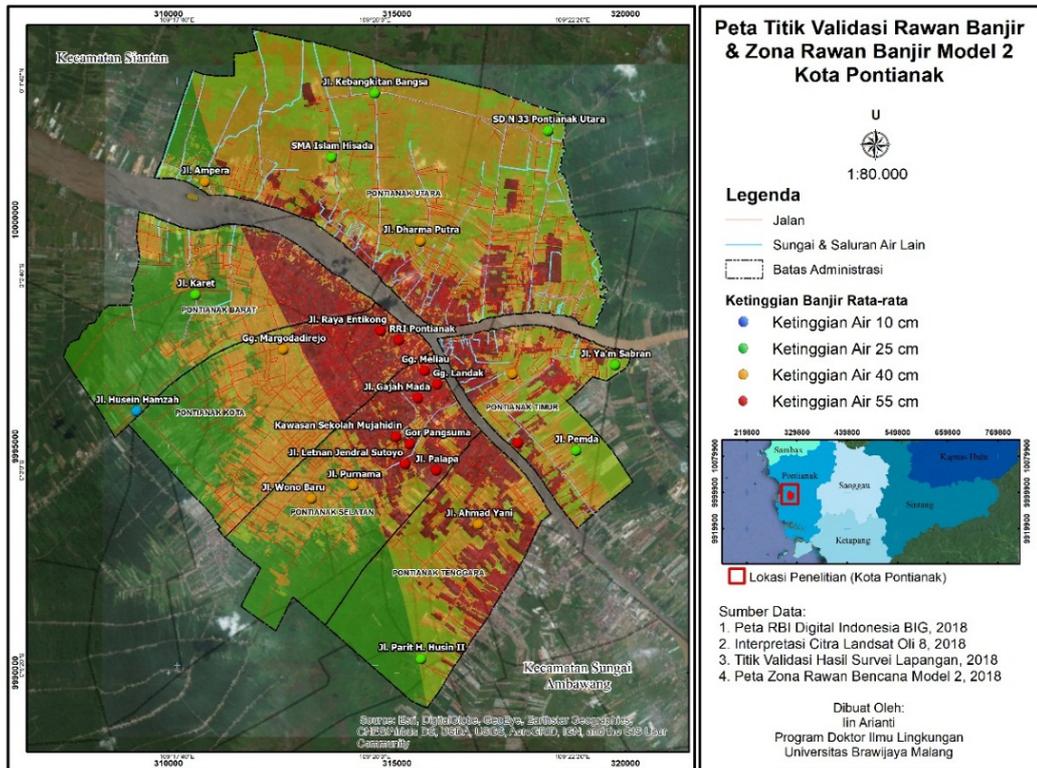
Tabel 5.19. Matrik error model 3

	Hasil Cek Lapangan				Total sampel	User Accuracy (%)	Error Comission (%)
	A 10 cm	B 25 cm	C 40 cm	D 55 cm			
A	1	2	0	0	3	33.3	66.7
B	1	3	1	0	5	60.0	20.0
C	0	0	6	0	6	100.0	16.7
D	0	0	1	10	11	90.9	9.1
Total	2	5	8	10	25		
Prod. Accuracy (%)	50.0	60.0	75.0	100.0	OA	80.0	
Error Omission (%)	50.0	40.0	25.0	0.0	Kappa	71.3	

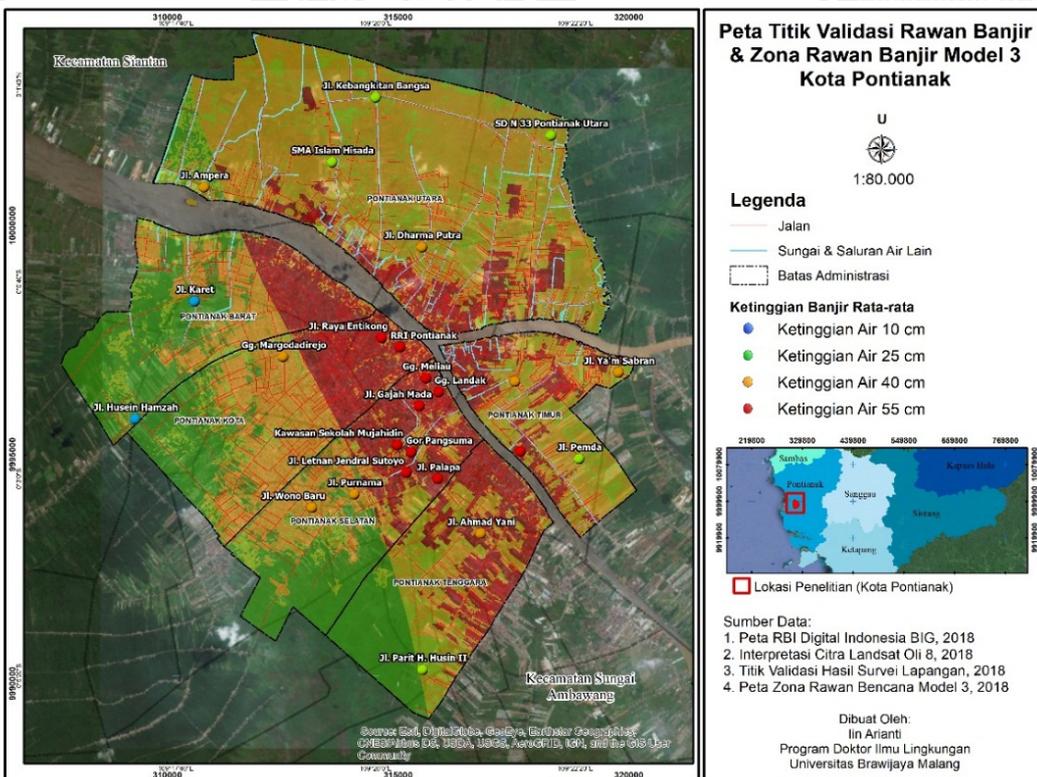
Adapun peta validasi dari ketiga model kerawanan banjir kota Pontianak dan peta validasi berdasarkan cek di lapangan dapat di lihat pada gambar 5.30, gambar 5.31, dan gambar 5.32.



Gambar 5.30. Peta titik validasi rawan banjir Model 1



Gambar 5.31. Peta titik validasi rawan banjir Model 2



Gambar 5.32. Peta titik validasi rawan banjir Model 3

5.2 Pembahasan

Pada penelitian ini pembahasan menitikberatkan pada penentuan pemilihan pemodelan kerawanan banjir terbaik dan manfaat peta kerawanan banjir tersebut. Indikator pemilihan model terbaik berdasarkan validasi model. Validasi untuk memperoleh nilai akurasi yang memiliki tingkat kepercayaan tertinggi merupakan model terbaik karena tingkat kesalahan yang terjadi minimum.

Dari hasil validasi model diperoleh bahwa model 1 memiliki nilai akurasi umum atau akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 84% sedangkan model 2 dan model 3 sebesar 80%. Berdasarkan hasil perhitungan akurasi Kappa ternyata model 2 dan 3 memiliki nilai akurasi Kappa yang sama yaitu 71,3% dan 71,3%. Adapun model 1 memiliki nilai akurasi Kappa yang lebih baik yaitu 76,7%. Maka dari itu dipilih model 1 yang dibentuk oleh lima variabel dengan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) yang lebih tinggi yaitu 84%. Nilai *overall accuracy* (akurasi keseluruhan) menunjukkan banyaknya jumlah piksel yang terklasifikasi secara benar pada tiap kelas dibanding jumlah sampel yang digunakan untuk uji akurasi pada semua kelas. Pada contoh Tabel 5.20, akurasi keseluruhan menunjukkan nilai 73,46% yang berarti 73,46% piksel yang ada pada hasil klasifikasi terklasifikasi dengan benar. Nilai dari uji akurasi ini yang paling banyak digunakan untuk menguji akurasi suatu hasil interpretasi dan atau klasifikasi.

Berdasarkan ke tiga model tingkat kerawanan banjir Kota Pontianak ternyata Model 1 adalah model terbaik. Model ini menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh daerah sangat rawan yaitu sebesar 31.440.543,1 m² atau 29,12% dari total luas wilayah penelitian sebesar 107.958.782,1 m², diikuti oleh daerah rawan sebesar 29.907.481,0 m² atau 27,70% dan daerah kurang aman sebesar

22.120.432,1 m² atau 20,49% serta daerah aman sebesar 24.490.325,9 m² atau 22,67% dari total luas wilayah penelitian. Bila ditinjau luasan sangat rawan per kecamatan ternyata Kecamatan Pontianak Kota yang terluas yaitu 8.299.516,9 m² kemudian diikuti Kecamatan Pontianak Selatan 6.980.141,8 m², Kecamatan Pontianak Barat 5.638.021,4 m², Kecamatan Pontianak Utara 4.095.410,0 m², Kecamatan Pontianak Tenggara 3.830.011,8 m² dan Kecamatan Pontianak Timur 2.597.441,2 m².

Tabel 5. 20. Luas tingkat kerawanan banjir per kecamatan Kota Pontianak

Kecamatan	Sangat Rawan (m ²)	Rawan (m ²)	Kurang Aman (m ²)	Aman (m ²)	Luas Total (m ²)
Pontianak Barat	5.638.021,4	1.241.204,0	1.884.480,4	6.091.665,3	14.855.371,2
Pontianak Kota	8.299.516,9	2.335.877,1	1.003.813,3	4.124.100,7	15.763.308,0
Pontianak Selatan	6.980.141,8	2.495.990,4	1.926.758,4	3.820.527,8	15.223.418,5
Pontianak Tenggara	3.830.011,8	3.397.296,9	2.163.785,3	4.872.127,0	14.263.220,9
Pontianak Timur	2.597.441,2	2.399.849,0	3.353.141,4	1.440.079,2	9.790.510,8
Pontianak Utara	4.095.410,0	18.037.263,6	11.788.453,3	4.141.825,9	38.062.952,8
Luas Total	31.440.543,1	29.907.481,0	22.120.432,1	24.490.325,9	107.958.782,1

Tingginya persentase dan luas wilayah sangat rawan banjir Kota Pontianak menunjukkan bahwa sangat diperlukan Peta kerawanan banjir sebagai mitigasi bencana banjir dan sebagai basis data sehingga rekomendasi yang dapat diberikan kepada pemerintah terkait adalah memprioritaskan pembangunan kota ke arah wilayah yang bebas banjir yaitu pada kelas aman. Salah satu contoh rekomendasi pada pemerintah kota Pontianak adalah dengan melengkapi RTRW dengan peta kerawanan banjir, sesuai dengan RTRW pasal 3 tentang tujuan penataan ruang wilayah kota. Penataan ruang wilayah Kota Pontianak bertujuan untuk mewujudkan kota perdagangan dan jasa terdepan di Kalimantan yang aman, nyaman, produktif dan berkelanjutan. Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 13 tentang Sistem Jaringan Sumber Daya Air, poin (5) (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h.

18), Sistem pengendalian banjir di kawasan sekitar Sungai Kapuas dan Sungai

Landak sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) huruf d, terdiri atas:

- a) mengembangkan jalur hijau di sepanjang sungai dan parit;
- b) pengendalian banjir dengan pengerukan dan normalisasi sungai;
- c) menetapkan badan air berupa saluran dan sungai sesuai peruntukannya;
- d) membangun saluran baru, rehabilitasi, dan pemeliharaan saluran alami dan saluran buatan; dan
- e) meningkatkan fungsi pelayanan drainase primer.

Bencana yang sering terjadi di Kota Pontianak adalah bencana banjir dan kebakaran, sedangkan bencana alam lainnya seperti gempa bumi akibat tektonik dan letusan gunung berapi belum pernah terjadi di Kota Pontianak. Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 21 tentang Kawasan Rawan Bencana (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 22-23):

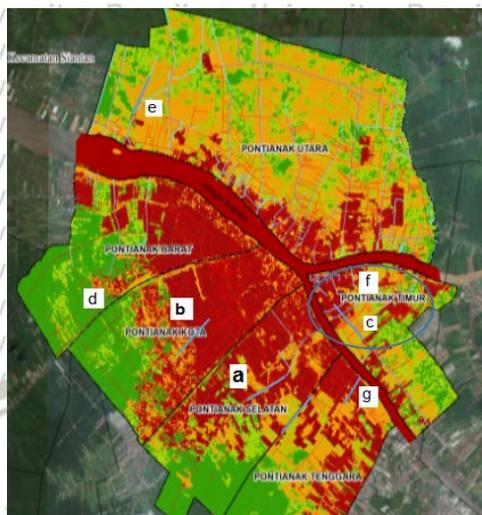
(1) Kawasan rawan bencana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 16 ayat (1) huruf e, meliputi:

- a) kawasan rawan banjir; dan
- b) kawasan rawan kebakaran.

(2) Kawasan rawan banjir sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) huruf a, meliputi:

- a) Kelurahan Parit Tokaya dan sekitarnya;
- b) Kelurahan Sungai Bangkong dan sekitarnya;
- c) Kelurahan Siantan Hulu sekitar Sungai Malaya;
- d) Kelurahan Sungai Belung dan Pal Lima;
- e) Kelurahan Batu Layang;
- f) Sebagian besar Kecamatan Pontianak Timur; dan

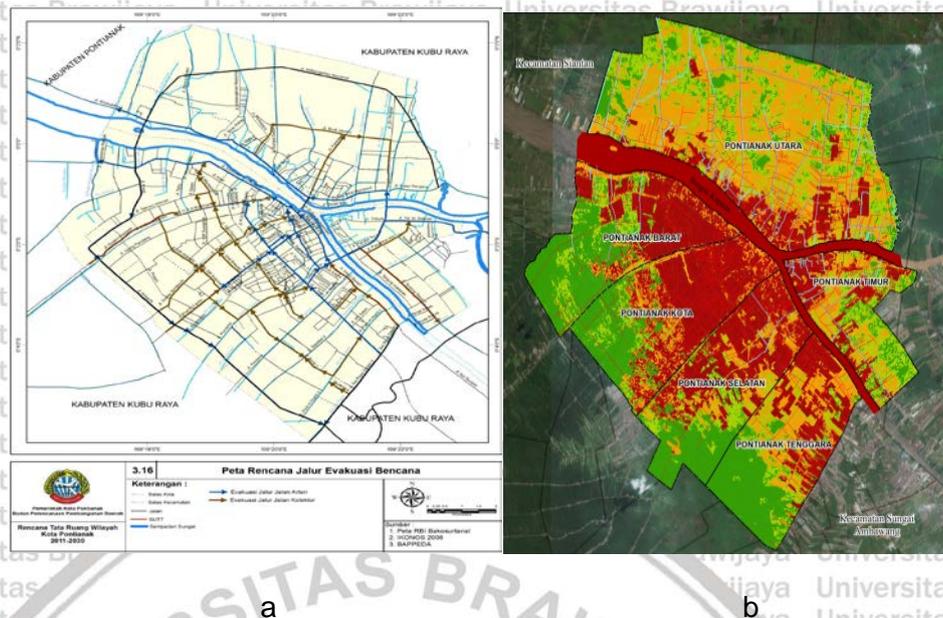
g) Kelurahan Bansir Laut, Bangka Belitung Laut dan Bangka Belitung Darat.



Gambar 5.33. Kawasan Rawan Banjir RTRW vs Peta rawan banjir

Bila RTRW dilengkapi dengan peta kerawanan banjir tentulah penetapan area kawasan rawan banjir seperti pada pasal 21 tentang kawasan rawan bencana, Kawasan rawan bencana banjir sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) huruf a, dapat lebih tepat. Bisa dilihat pada gambar 5.33 daerah kawasan rawan banjir Kota Pontianak pada RTRW sudah tepat walaupun akan lebih baik dan tepat bila ada peta rawan banjir sebagai rujukannya.

Dari lampiran RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, telah ditetapkan peta rencana jalur evakuasi bencana, sedangkan bencana yang sering terjadi di Kota Pontianak adalah bencana banjir. Kawasan yang diperuntukkan sebagai ruang evakuasi bencana adalah sesuai dengan pasal 29 (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 26). Dengan telah ditetapkannya rencana jalur evakuasi bencana dan ruang evakuasi bencana pada RTRW seperti pada gambar 5.34



Gambar 5.34. a. Peta rencana jalur evakuasi bencana; b. Peta Rawan Banjir

Sumber a: Perda Kota Pontianak No. 2 th 2013, lampiran I.8

Pada peta kerawanan banjir, wilayah yang dilalui oleh jalur evakuasi merupakan daerah yang memiliki tingkat kerawanan sangat rawan sehingga bila terjadi banjir jalur evakuasi ini juga akan banjir dan proses pengevakasian akan terdapat kendala. Solusi untuk jalur evakuasi bencana, perlu segera diprioritaskan peninggian trase jalur evakuasi.

Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 29 tentang Kawasan Peruntukan Ruang Evakuasi Bencana (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 26), Kawasan peruntukan ruang evakuasi bencana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf g meliputi:

- a) Gelanggang Olah Raga (GOR) Pangsuma Jalan Ahmad Yani Pontianak;
- b) Lapangan Olah Raga Kebon Sajoeq Kecamatan Pontianak Kota;
- c) Lapangan Olah Raga Universitas Tanjungpura Pontianak;
- d) Lapangan Olah Raga Jalan Ampera;
- e) Lapangan sepak Bola Perum III Kecamatan Pontianak Timur;

f) Lapangan Sepak Bola di Jalan Ujung Pandang Kecamatan Pontianak Kota;

g) Sirkuit *Grass Track* di Jalan Flora Kecamatan Pontianak Utara; dan

h) Lapangan Sepak Bola di Kecamatan Pontianak Barat.

Pada ruang evakuasi bencana, merupakan lokasi rawan banjir sehingga penetapan ruang evakuasi pada lokasi seperti yang disebutkan pada RTRW point a hingga c kurang tepat, namun untuk point d hingga h sudah tepat artinya lokasi ini tidak terdampak banjir, tetapi jalur evakuasi maupun wilayah di sekitar ruang untuk evakuasi bencana merupakan daerah yang juga masih terdampak bencana banjir.

Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 22 tentang Rencana Pengembangan Kawasan Budidaya (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 23), kawasan budidaya terdiri atas :

a) Kawasan peruntukan perumahan;

b) Kawasan peruntukan perdagangan dan jasa;

c) Kawasan peruntukan perkantoran;

d) Kawasan peruntukan industri;

e) Kawasan peruntukan pariwisata;

f) Kawasan peruntukan ruang terbuka non hijau;

g) Kawasan peruntukan ruang evakuasi bencana;

h) Kawasan peruntukan ruang bagi kegiatan sektor informal;

i) Kawasan peruntukan lainnya meliputi; Kawasan peruntukan pertanian,

Kawasan peruntukan perikanan, Kawasan peruntukan pelayanan umum,

Kawasan pertahanan dan keamanan.

Pada bahasan ini khususnya pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 23 tentang Kawasan Peruntukan Perumahan (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 23):

(1) Kawasan peruntukan perumahan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf a adalah kawasan hunian yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana penunjang kegiatan hunian.

(2) Kawasan peruntukan perumahan sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) seluas 4.358 hektar meliputi:

a) Kawasan perumahan skala besar dan kawasan perumahan skala bukan besar meliputi;

1. Kecamatan Pontianak Utara yang meliputi Kelurahan Siantan Hilir;
2. Kecamatan Pontianak Selatan yang meliputi Kelurahan Parit Tokaya;
3. Kecamatan Pontianak Kota yang meliputi Kelurahan Sungai Jawi;
4. Kecamatan Pontianak Barat meliputi Kelurahan Pal Lima;
5. Kecamatan Pontianak Timur meliputi Kelurahan Saigon dan Kelurahan Parit Mayor;
6. Kecamatan Pontianak Tenggara meliputi Kelurahan Bansir Darat.

b) Kawasan Perumahan skala menengah sebagaimana dimaksud pada ayat 2 huruf a dialokasikan sebagai berikut:

1. Kecamatan Pontianak Selatan yang meliputi Kelurahan Parit Tokaya;
2. Kecamatan Pontianak Kota yang meliputi Kelurahan Sungai Jawi;
3. Kecamatan Pontianak Barat meliputi Kelurahan Pal Lima dan Kelurahan Sungai Belung;
4. Kecamatan Pontianak Timur meliputi Kelurahan Parit Mayor;

5. Kecamatan Pontianak Tenggara meliputi Kelurahan Bangka Belitung Darat.

Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 24 tentang Kawasan Peruntukan Perdagangan dan Jasa (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 24):

(1) Kawasan peruntukan perdagangan dan jasa sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf b meliputi:

- a) pasar tradisional;
- b) pusat perbelanjaan; dan
- c) toko modern.

(2) Pasar Tradisional sebagaimana yang dimaksud pada ayat (1) huruf a meliputi:

- a) Peningkatan Pasar Flamboyan di Kecamatan Pontianak Selatan;
- b) Peningkatan Pasar Mawar di Kecamatan Pontianak Kota;
- c) Peningkatan Pasar Dahlia di Kecamatan Pontianak Barat;
- d) Peningkatan Pasar Seruni di Kecamatan Pontianak Timur;
- e) Peningkatan Pasar Puring di Pontianak Utara;
- f) Pengembangan Pasar Teratai, di Kecamatan Pontianak Barat;
- g) Pengembangan Pasar Kemuning di Kecamatan Pontianak Kota;
- h) Pengembangan Pasar Anggrek dan Pasar Kenanga di Kecamatan Pontianak Timur.
- i) Pengembangan pasar tradisionil lainnya akan dilakukan pada pusat pelayanan lingkungan.

(3) Pusat perbelanjaan sebagaimana yang dimaksud pada ayat (1) huruf b meliputi:

- a) Peningkatan Pusat perdagangan grosir di pusat kota di Jalan Pasar Tengah, sekitar Jalan Tanjung Pura dan Jalan Gajahmada
- b) Pengembangan Pusat perbelanjaan Kawasan A. Yani dan sekitarnya;
- c) Peningkatan Pusat Perbelanjaan Sungai Jawi;
- d) Peningkatan Pusat Perbelanjaan Matahari Mall Jalan Jendral Urip;
- e) Peningkatan Pusat Perbelanjaan Jalan Gajahmada; dan
- f) Peningkatan Pusat Perbelanjaan Pasar Siantan di Kecamatan Pontianak Utara.

(4) Toko Modern sebagaimana yang dimaksud pada ayat (1) huruf c dapat berupa minimarket, supermarket, *hypermarket*, *departement store* atau perkulakan.

Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 25 tentang Kawasan Peruntukan Perkantoran (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 24-25):

- (1) Kawasan peruntukan perkantoran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf c terdiri dari:
 - a) perkantoran pemerintahan; dan
 - b) perkantoran swasta.
- (2) Kawasan peruntukan perkantoran pemerintahan sebagaimana dikembangkan di:
 - a) sekitar Jalan Sutoyo Kecamatan Pontianak Selatan;
 - b) sekitar Jalan Ahmad Yani Kecamatan Pontianak Tenggara dan Pontianak Selatan;
 - c) sekitar Jalan Rahadi Usman dan Jalan Aliyang di Kecamatan Pontianak Kota; dan
 - d) sekitar Jalan Sutan Syahrir Kecamatan Pontianak Kota dan Pontianak Selatan.

(3) Kawasan peruntukan perkantoran swasta sebagaimana ayat 1 huruf b dikembangkan secara merata di pusat pelayanan kota dan subpusat pelayanan kota.

Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 26 tentang Kawasan Peruntukan Industri (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 25):

(1) Kawasan peruntukan industri sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf d meliputi industri rumah tangga/kecil dan industri ringan.

(2) Industri rumah tangga/kecil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dikembangkan di seluruh kawasan permukiman.

(3) Kawasan peruntukan industri ringan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) seluas kurang lebih 258 ha dikembangkan di Kecamatan Pontianak Utara meliputi kelurahan Batu Layang, Siantan Hilir dan Siantan Hulu. Di Kecamatan Pontianak Timur meliputi kelurahan Tanjung Hilir dan Tanjung Hulu. Di Kecamatan Pontianak Barat pada kelurahan Sungai Beluing dan di Kecamatan Pontianak Tenggara pada kelurahan Bangka Belitung Laut.

Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 27 tentang Kawasan Peruntukan Pariwisata (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 25-26):

(1) Kawasan peruntukan pariwisata sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf e terdiri atas:

- a) pariwisata budaya;
- b) pariwisata alam; dan
- c) wisata minat khusus.

(2) Pariwisata budaya sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a seluas 67,88 hektar, meliputi:

- a) Kawasan pariwisata Tugu Khatulistiwa di Kelurahan Batu Layang Kecamatan Pontianak Utara;
- b) Kawasan pariwisata Keraton Kadriyah di Kelurahan Dalam Bugis Kecamatan Pontianak Timur;
- c) Kawasan pariwisata Kampung Beting di Kelurahan Tanjung Hilir Kecamatan Pontianak Timur;
- d) Kawasan pariwisata Makam Batu Layang di Kelurahan Batu Layang Kecamatan Pontianak Utara;
- e) Kawasan pariwisata Museum dan Taman Budaya di Kelurahan Parit Tokaya Kecamatan Pontianak Selatan;
- f) Kawasan pariwisata Cagar Budaya Rumah Betang di Kelurahan Parit Tokaya Kecamatan Pontianak Selatan;
- g) Kawasan pariwisata Kampung Budaya di Kelurahan Sungai Bangkong Kecamatan Pontianak Kota; dan
- h) Kawasan pariwisata Cagar Budaya Kelenteng Tua di Kelurahan Tengah Kecamatan Pontianak Kota.

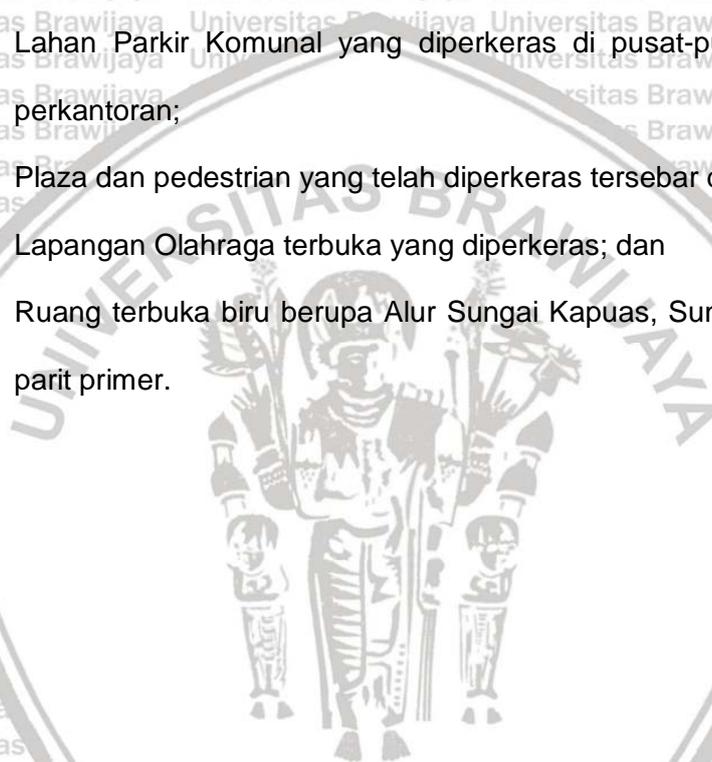
(3) Pariwisata alam sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b, meliputi kawasan tepian dan badan Sungai Kapuas, Taman Agro Khatulistiwa di Kelurahan Siantan Hilir, dan Taman Alun-alun Kapuas di Kelurahan Tengah Kecamatan Pontianak Kota.

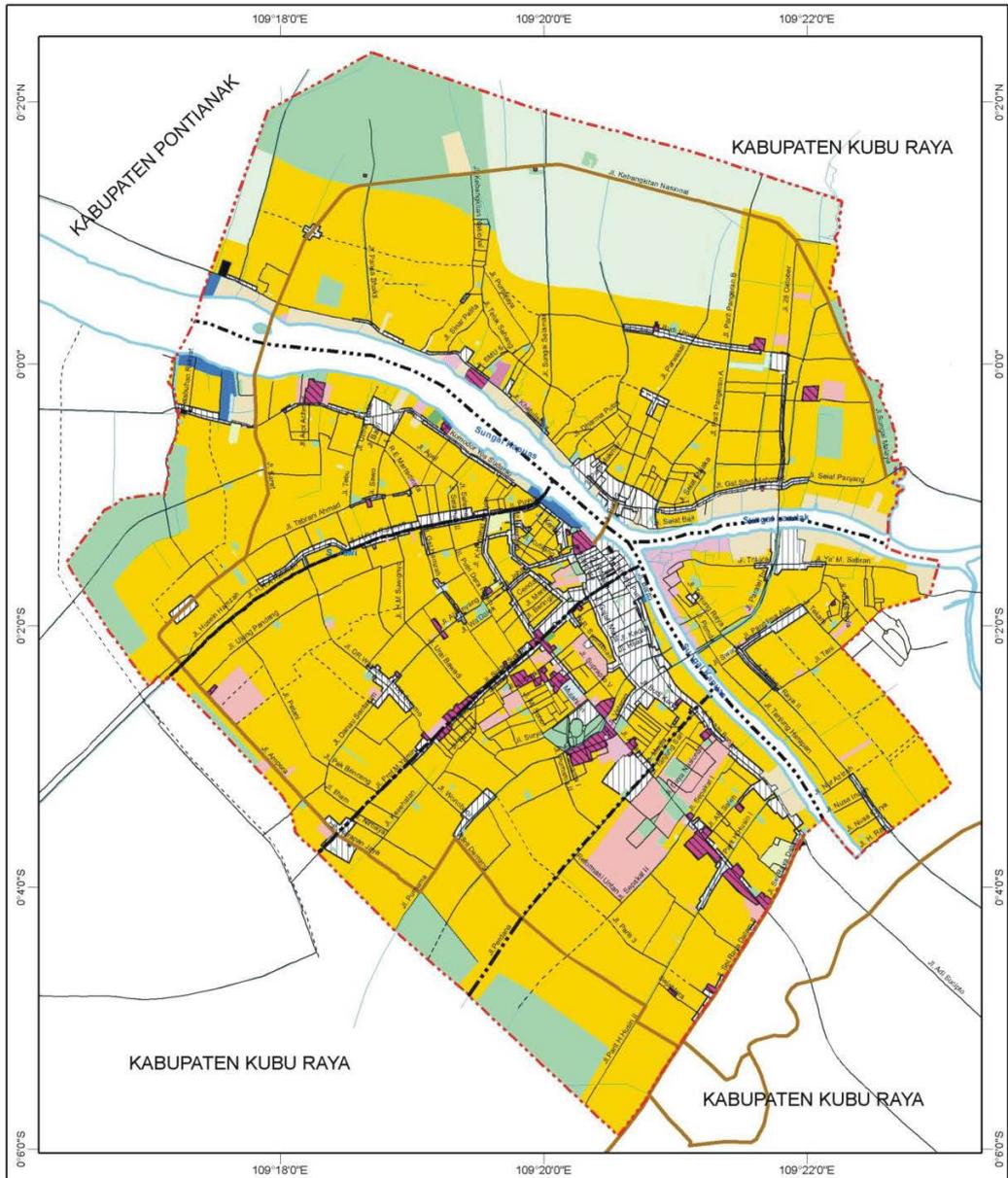
(4) Pariwisata minat khusus sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c, meliputi kawasan wisata belanja di kawasan perdagangan dan jasa pusat kota, serta *aloevera center* di Kelurahan Siantan Hilir Kecamatan Pontianak Utara.

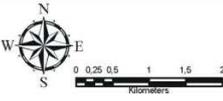
Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 28 tentang Kawasan Peruntukan Ruang Terbuka Non Hijau (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013,

h. 26), Kawasan peruntukan ruang terbuka non hijau sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf f seluas kurang lebih 277 hektar, meliputi:

- a) Kawasan Sepanjang Kanan Kiri Tepian Sungai Kapuas Mulai dari Persimpangan Sungai Kapuas-Sungai Landak sampai Kelurahan Parit Mayor;
- b) Lahan Parkir Komunal yang diperkeras di pusat-pusat perdagangan dan perkantoran;
- c) Plaza dan pedestrian yang telah diperkeras tersebar di bagian wilayah kota;
- d) Lapangan Olahraga terbuka yang diperkeras; dan
- e) Ruang terbuka biru berupa Alur Sungai Kapuas, Sungai Landak serta parit-parit primer.





 <p>Pemerintah Kota Pontianak Badan Perencanaan Pembangunan Daerah</p> <p>Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pontianak 2012-2032</p>	<p align="center">Peta Rencana Pola Ruang</p> <p>Keterangan :</p> <ul style="list-style-type: none"> --- Batas Kota --- Batas Kecamatan — Jalan Lingkar Kota Ptk — Jalan — Sungai Terminal Pertanian & Peternakan TPA Sampah RTH Fasilitas Kesehatan Fasilitas Pendidikan Fasilitas Peribadatan Perdagangan & Jasa Militer Fasilitas Pemerintahan Fasilitas Kebudayaan & Pariwisata Pelabuhan PLTD Industri & Pergudangan Pemukiman 		 <p>Sumber : 1. Peta RBI Bakosurtanal 2. IKONOS 2008 3. BAPPEDA</p>
---	---	--	--

Gambar 5.34. Peta rencana pola ruang

Sumber: Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, lampiran I.9



Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 30 tentang Kawasan Peruntukan Ruang Bagi Kegiatan Sektor Informal (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 26-27), Kawasan peruntukan ruang bagi kegiatan sektor informal sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 huruf h meliputi:

- a) kawasan pedagang kaki lima pinggir jalan di kawasan Pusat Perdagangan Nusa Indah, Pasar Tengah, Pasar Kapuas dan Pasar Siantan;
- b) kawasan pujasera di pelataran pusat pertokoan, di sekitar pasar, terminal dan pelabuhan;
- c) kawasan pedagang kaki lima yang merupakan bagian dari taman-taman kota;
- d) kawasan pedagang kaki lima di Tempat Rekreasi Kawasan Wisata Tugu di Kelurahan Batu Layang dan Kawasan Pusat Kuliner di Kelurahan Darat Sekip dan Benua Melayu Darat; dan
- e) pemanfaatan beberapa ruas jalan pada waktu-waktu tertentu yang diatur melalui peraturan walikota.

Pada RTRW Kota Pontianak tahun 2013 – 2033, pasal 31 tentang Kawasan Peruntukan Lainnya (Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 27-28), Kawasan peruntukan lainnya sebagaimana dimaksud pada Pasal 22 huruf j meliputi:

- a) Kawasan peruntukan pertanian meliputi:
 - 1) kawasan peruntukan pertanian hortikultura seluas 775 hektar di Kelurahan Siantan Hilir Kecamatan Pontianak Utara;
 - 2) kawasan peruntukan peternakan seluas kurang lebih 170 hektar di Kelurahan Siantan Hulu Kecamatan Pontianak Utara;
- b) Kawasan peruntukan perikanan meliputi:
 - 1) Kawasan perikanan budidaya meliputi sepanjang kanan kiri tepian Sungai Kapuas mulai dari persimpangan Sungai Kapuas-Sungai Landak sampai

Kelurahan Parit Mayor dan sepanjang kanan kiri tepian Sungai Landak sampai Kelurahan Siantan Hulu;

2) Pangkalan Pendaratan Ikan yang kemudian disingkat PPI terletak di tepian sungai Kapuas di Kelurahan Sungai Jawi Luar Kecamatan Pontianak Barat yaitu PPI Kota Pontianak;

3) Pusat Pemasaran Ikan Hias (*Raiser*) sebagai pusat pengembangan bibit ikan hias yang berdaya jual tinggi yang berlokasi di jalan 28 Oktober;

4) Balai Benih Ikan selanjutnya disingkat (BBI) sebagai wadah pendistribusian benih ikan air tawar di Kalimantan Barat yang berlokasi di Kelurahan Parit Mayor Kecamatan Pontianak Timur;

5) Stasiun Pengisian Bahan Bakar Diesel Nelayan di Komplek PPI Kota Pontianak.

c) Kawasan peruntukan pelayanan umum meliputi:

1) Kawasan peruntukan pendidikan seluas 357,5 hektar meliputi:

(a) Kawasan Pendidikan Universitas Tanjungpura dan Politeknik di Kecamatan Pontianak Tenggara;

(b) Kawasan Pendidikan Gembala Baik dan Sekolah Luar Biasa di Kecamatan Pontianak Tenggara;

(c) Kawasan Pendidikan STAIN di Kecamatan Pontianak Selatan;

(d) Kawasan Pendidikan Sekolah Swasta di jalan A, Yani di Kecamatan Pontianak Selatan;

(e) Kawasan Pendidikan Sekolah Negeri di Kelurahan Akcaya Kecamatan Pontianak Selatan;

(f) Kawasan Pendidikan Widya Dharma dan sekitarnya di Kecamatan Pontianak Selatan;



(g) Kawasan Pendidikan Universitas Panca Bhakti di Kelurahan Sungai Beliang Kecamatan Pontianak Barat;

(h) Kawasan Pendidikan Tinggi di Jalan Ampera di Kelurahan Sungai Jawi Kecamatan Pontianak Kota;

(i) Kawasan Pendidikan Sekolah Terpadu di Kecamatan Pontianak Timur; dan

(j) Kawasan Pendidikan Tinggi Politeknik Kesehatan Negeri di Kecamatan Pontianak Utara;

2) Kawasan peruntukan kesehatan, meliputi:

(a) Puskesmas dan balai pengobatan diarahkan di setiap pusat lingkungan;

(b) Rumah Sakit Umum di Kelurahan Bangka Belitung Laut, Kelurahan Sungai Jawi, Kelurahan Sungai Beliang, dan Kelurahan Tambelan Sampit.

3) Kawasan peruntukan peribadatan diarahkan menyebar dan merata di seluruh kawasan kota dan/atau permukiman.

d) Kawasan pertahanan dan keamanan meliputi:

1) Markas TNI di Kelurahan Benua Melayu Darat; dan

2) Markas Angkatan Laut di Kelurahan Sungai Jawi Luar

Sistem jaringan transportasi darat pada Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, h. 13-16, baik jalan primer, jalan sekunder, jalan kolektor, maupun jalan lokal

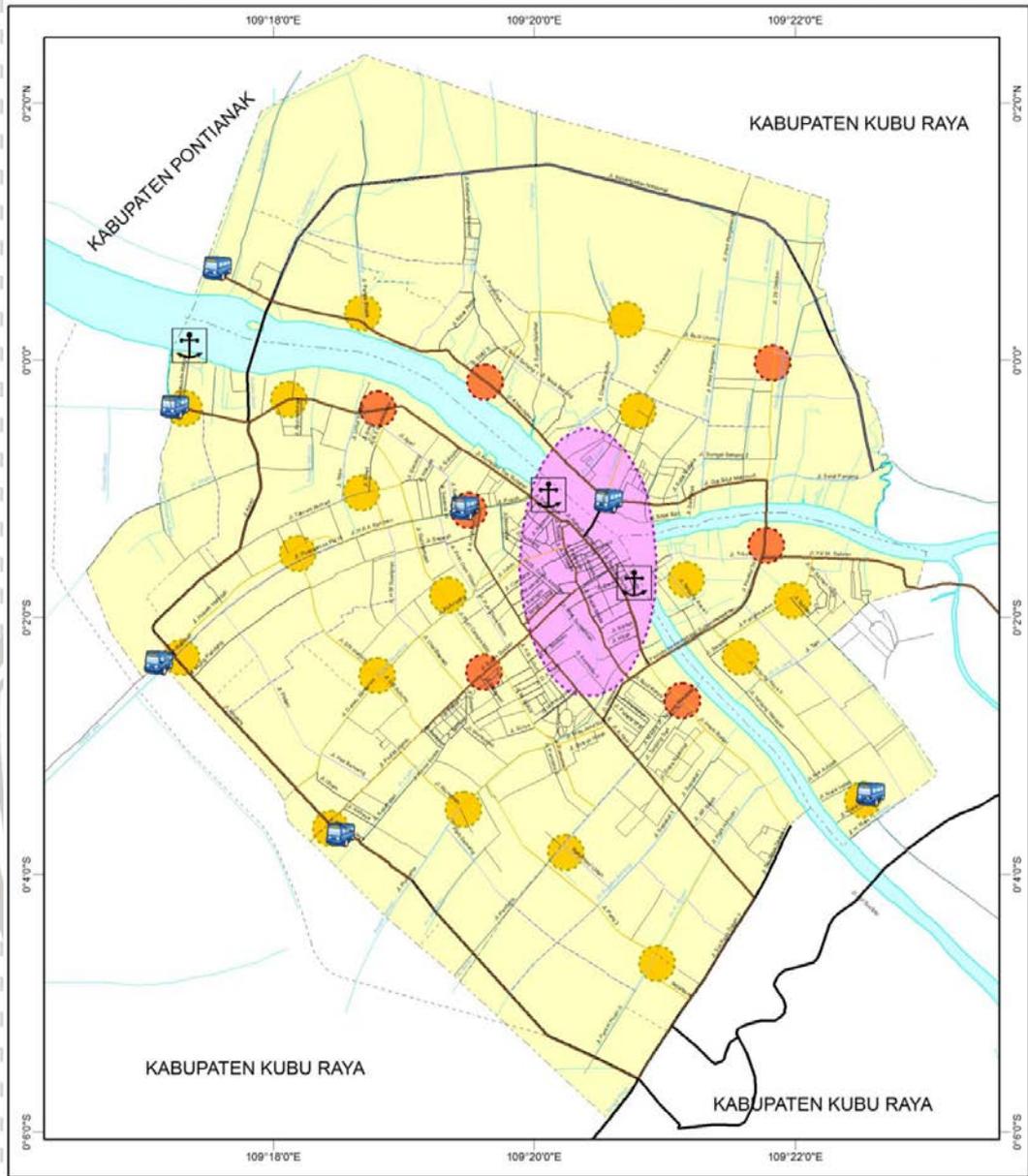
harus ditentukan level titik terendah dari konstruksi jalan tersebut yang terhindar dari bencana banjir. Terminal penumpang dan terminal barang harus ditentukan

juga level titik terendah dari konstruksinya agar tidak terdampak bencana banjir,

sehingga kelancaran distribusi penumpang dan barang tidak terganggu dengan

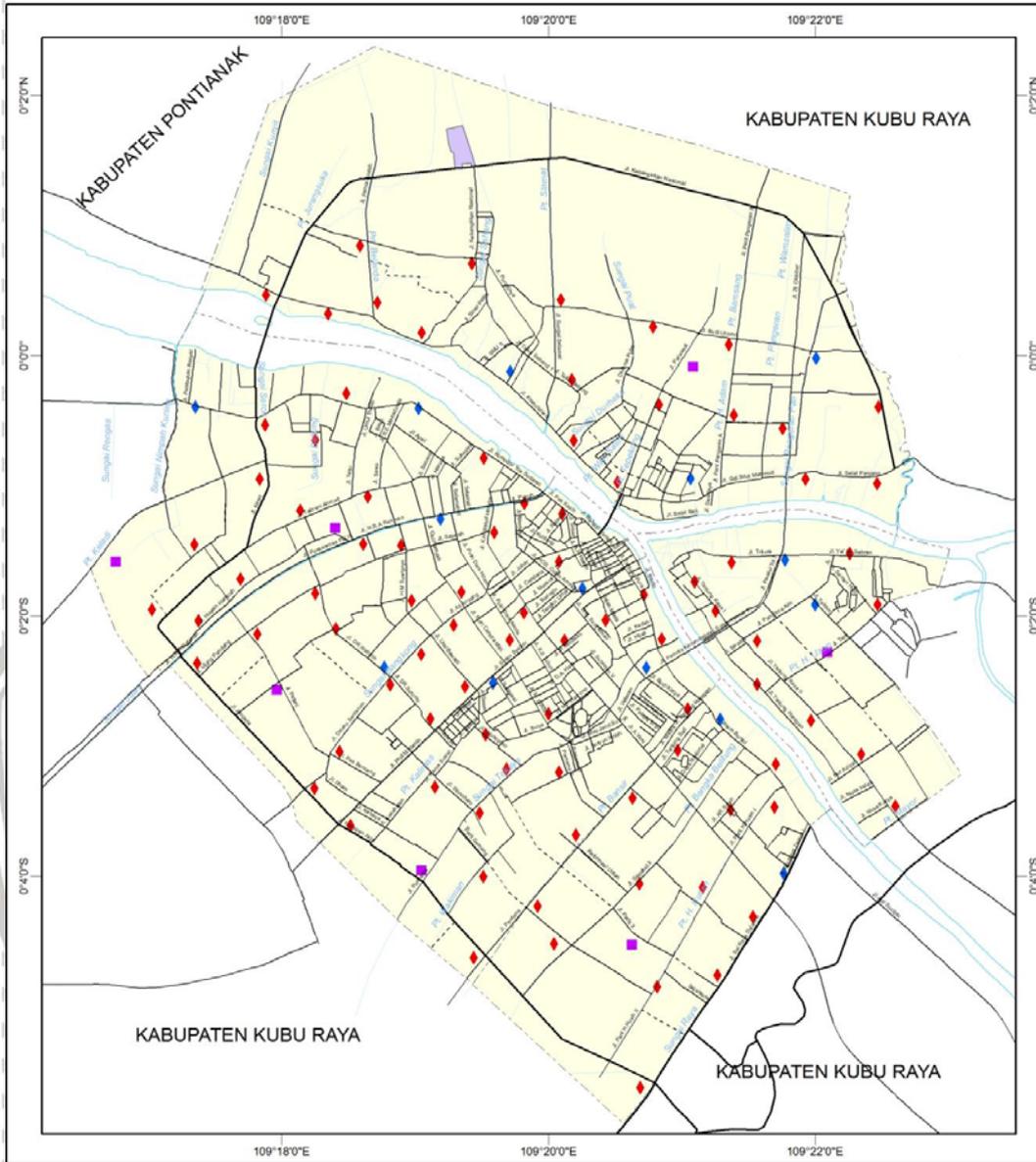
bencana banjir. Lintas penyeberangan dan pelabuhan sungai juga harus direncanakan menggunakan sistem yang tidak terganggu oleh banjir maupun perubahan tinggi rendahnya muka air sungai, mungkin dengan menggunakan sistem dermaga apung (gambar 5.35).

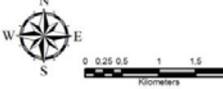




Gambar 5.35. Peta rencana struktur ruang

Sumber: Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, lampiran I.1



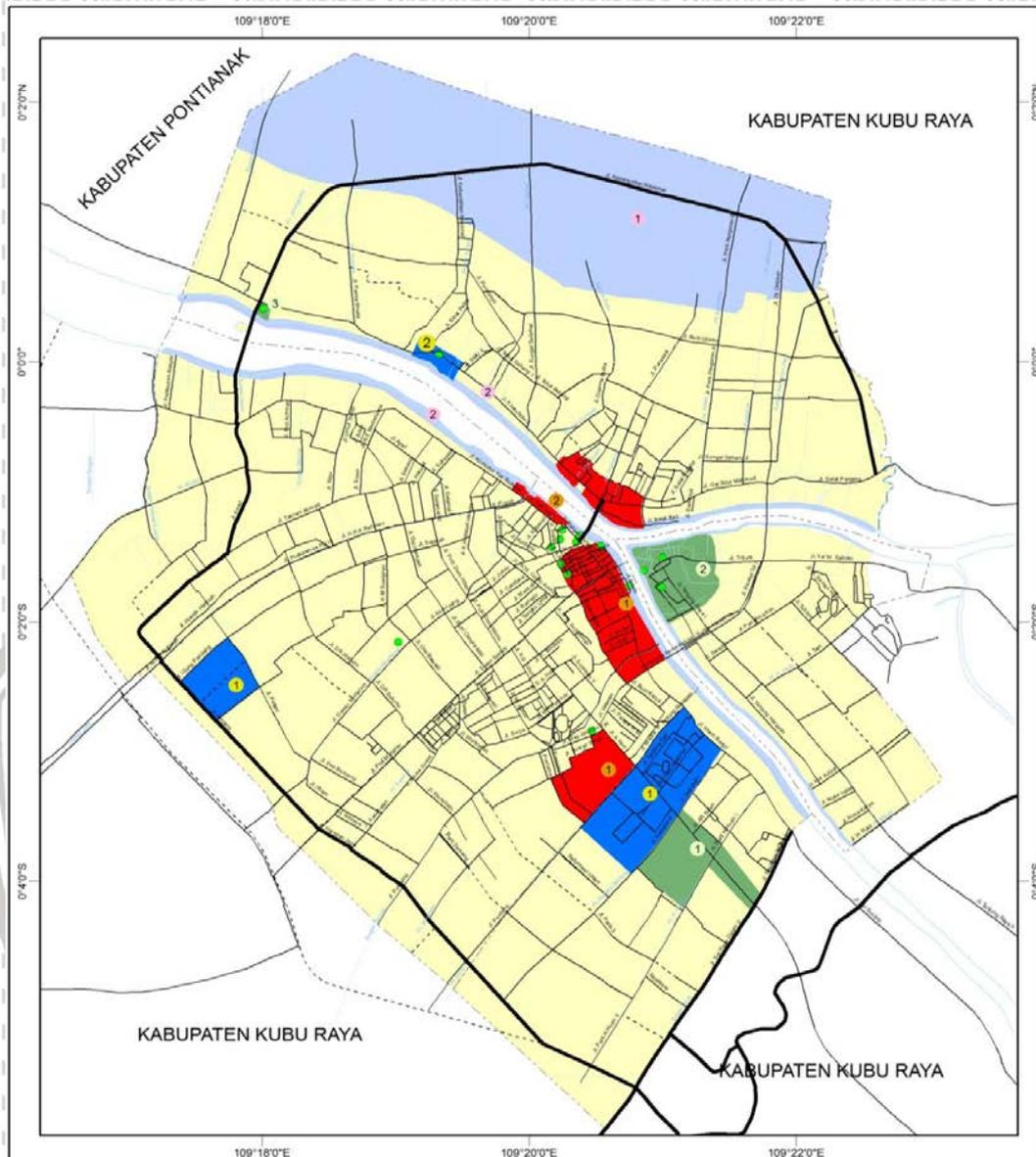
 Pemerintah Kota Pontianak Dinas Tata Ruang dan Perumahan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pontianak 2011-2030	3.13	Peta Rencana Sistem Persampahan	 Sumber : 1. Peta RBI Bakosurtanal 2. IKONOS 2008 3. BAPPEDA
	Keterangan :		
- - - - Batas Kota - - - - Batas Kecamatan — Jaringan Jalan - - - - Renc. Jalan — Sungai	◆ TPS Type II ◆ TPS Type III ■ Rumah Kompos ■ TPA Sampah		

Gambar 5.36. Peta rencana sistem persampahan

Sumber: Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, lampiran 1.5

Tempat pembuangan sampah sementara yang telah ditetapkan lokasi-lokasinya (gambar 5.36), harus ditinggikan konstruksi bawahnya agar saat terjadi bencana banjir, sampah yang ada di tempat pembuangan sampah tersebut tidak hanyut akibat banjir, sehingga mencegah terjadinya pencemaran akibat sampah.

Demikian juga halnya dengan Kawasan peruntukan perumahan; Kawasan peruntukan perdagangan dan jasa; Kawasan peruntukan perkantoran; Kawasan peruntukan industri; Kawasan peruntukan pariwisata; Kawasan peruntukan ruang terbuka non hijau; Kawasan peruntukan ruang bagi kegiatan sektor informal; Kawasan peruntukan lainnya meliputi; Kawasan peruntukan pertanian, Kawasan peruntukan perikanan, Kawasan peruntukan pelayanan umum, Kawasan pertahanan dan keamanan (gambar 5.35). Kawasan peruntukan perumahan, setiap pengembang harus diwajibkan untuk membangun perumahan dengan level ketinggian rumah yang aman terhadap bencana banjir. Kawasan peruntukan perdagangan dan jasa, setiap pengusaha yang akan membangun diwajibkan untuk membangun di atas level banjir. Kawasan peruntukan perkantoran harus dibangun di atas level bencana banjir, sehingga kegiatan tetap dapat berjalan lancar. Kawasan peruntukan industri, harus dibangun di atas level banjir agar tidak mengganggu jalannya produksi industri tersebut. Kawasan peruntukan pariwisata, harus dibangun di atas level bencana banjir agar tidak mengganggu aktivitas pariwisata di tempat tersebut. Kawasan peruntukan ruang terbuka non hijau dan Kawasan peruntukan ruang bagi kegiatan sektor informal harus dibangun sedemikian rupa agar aman terhindar dari bencana banjir. Kawasan peruntukan pertanian, Kawasan peruntukan perikanan harus bebas dari banjir, dengan cara membangun tanggul penahan banjir. Kawasan peruntukan pelayanan umum, Kawasan pertahanan dan keamanan harus dibangun bebas dari bencana banjir.



Gambar 5.37. Peta rencana kawasan strategis

Sumber: Perda Kota Pontianak No. 2 tahun 2013, lampiran I.10

Kawasan-kawasan strategis (gambar 5.37) seperti pusat-pusat perekonomian, pusat-pusat pelayanan publik baik berupa pelayanan masyarakat dan pelayanan kesehatan, pusat-pusat pendidikan, pusat-pusat energi dan kelistrikan, pusat-pusat sumber air bersih, pusat-pusat telekomunikasi, semuanya juga harus dihindarkan dari bencana banjir.



BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

1. Variabel-variabel penyebab banjir Kota Pontianak adalah curah hujan (*rainfall*) >3000 mm/th; jenis tanah (*soil type*) terdiri dari aluvial dan gambut; penggunaan lahan (*landuse*) terdiri dari jasa dan industri, pendidikan dan perkantoran, permukiman, persawahan, RTH; tutupan lahan (*land cover*) terdiri dari kebun campur, lahan terbuka, permukiman; dan kemiringan lereng (*slope*) datar.
2. 3 (tiga) model tingkat kerawanan banjir Kota Pontianak dibuat berdasarkan formulasi logis Seyhan, akademisi dan pakar dari PUPR.
3. Model tingkat kerawanan banjir model 1 merupakan model terbaik karena model 1 memiliki nilai akurasi keseluruhan sebesar 84%, hal ini berarti hasil peta model 1 memiliki tingkat kepercayaan 84% setelah dilakukan pengecekan lokasi titik genangan pada peta terhadap titik genangan di lapangan. Adapun nilai akurasi Kappa pada model 1 yaitu 79,3%, hal ini berarti mampu menghindari 79,3% kesalahan.
4. Model tingkat kerawanan banjir ini menerangkan bahwa sebagian besar wilayah Kota Pontianak memiliki tingkat kerawanan banjir yang sangat tinggi yaitu seluas 31.440.568,8 m² atau 29,11% dari total luas wilayah penelitian sebesar 108.003.319,8 m². Adapun daerah rawan sebesar 29.945.485,7 m² atau 27,73% dan daerah kurang aman sebesar 22.126.936,3 m² atau

20,49% serta daerah aman sebesar 24.490.328,7 m² atau 22,67% dari total luas wilayah penelitian.

6.2. Saran

Sebagian besar wilayah penelitian merupakan wilayah yang memiliki tingkat atau kelas kerawanan sangat rawan cukup luas sehingga perlu perhatian serius dalam upaya pencegahan atau penanggulangan bencana banjir oleh berbagai pihak terkait di kota Pontianak. Peta kerawanan banjir dapat digunakan sebagai sistem mitigasi agar dapat diupayakan tindakan meminimalisasi resiko sehingga tidak terjadi kerugian yang besar pada wilayah tersebut. Peta kerawanan banjir ini dapat digunakan sebagai data dasar untuk menetapkan pengembangan wilayah kota yang aman dari banjir. Peta kerawanan banjir ini juga dapat digunakan sebagai data dasar penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abah, R.C. 2013. An application of geographic information system in mapping flood risk zones in a north central city in Nigeria, *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(6): 365-371.
- Abbas, J. 2012. Geology and soil conditions as factors in flooding. *Journal of Riparian Ecology*, 3: 213-220.
- Abdeyazdan, M., & A.Z. Jodaki. 2015. Geographic Information System (GIS) Application in Flood Crisis Management. *2nd International conference on Innovative Engineering Technologies (ICIET'2015)* August 7-8, 2015 Bangkok (Thailand).
- Abowei, J.F.N., & F.D. Sikoki. 2005. *Water pollution management and control*. Port Harcourt. Double Trust Publications.
- Abrahams, A.D., A.J. Parsons, & J. Wainwright. 1995. Effects of vegetation change on interrill runoff and erosion, Walnut Gulch, *Southern Arizona. Geomorphology*, 13(1-4): 37-48.
- Adger, W.N. 2006. Vulnerability. *Glob. Environ. Change*, 16:268–281.
- Agrawal, D. 2010. Flooding in some Indian villages. *Journal of Oriental Ecology*, 1:69-81
- Aguilar, F.J., Aguera, F., Aguilar, M.A., Carvajal, F. 2005. Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM Accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 71, No. 7*, July 2005, pp. 805–816.
- Ahmad, S.S., & S.P. Simonovic. 2013. Spatial and temporal analysis of urban flood risk assessment. *Urban Water J.*, 10(1): 26–49.
- Alcantara-Ayala, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47: 107-124.
- Alexander, D.E. 2002. *Principles of emergency planning and management*. Oxford University Press, Oxford.
- Alexander, M. 2012. *Decision-making using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and SAS/IML®*. JMP, SAS and all other SAS Institute, Inc. USA.
- Almazroui, M. 2011. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmos. Res.*, 99: 400–414.
- Apel, H., G.T. Aronica, H. Kreibich & A.H. Thielen. 2009. Flood risk analysis - How detailed do we need to be? *Natural Hazards*, 49(1): 79-98.
- Apel, H., A.H. Thielen, B. Merz & G. Blöschl. 2004. Flood risk assessment and associated uncertainty. *Nat. Hazards Earth Syst Sci.*, 4(2):295–308
- Apel, H., B. Merz & A.H. Thielen. 2008. Quantification of uncertainties in flood risk assessments. *Int. J. River Basin Manag.*, 6(2): 149-162.



Arianti, I. 2006. Pemodelan Zona dan Tingkat Kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan. *Thesis*. IPB, Bogor.

Aronoff, S. 1989. *Geographic Information System: A Management Perspective*. WDL Publications. Ottawa. Canada.

Armenakis C., & N. Nirupama. 2014. Flood Risk Mapping for the City of Toronto. *Procedia Economics and Finance*, 18: 320-326.

Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: Penerbit IPB Press.

Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta (ID): UGM Press.

Azary, M., S.R. Sadeghei & A. Talory. 2006. The combination of HEC-HMS and HEC-RAS models in the GIS, For Flood simulation. *In The first national conference of stream engineering in the Mashhad city, Iran*.

Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika. 2017. Analisis Hujan Tahunan Januari-Desember 2017. *Buletin BMKG*.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2013. *Bencana di Indonesia 2013*.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2016. Dipetik 29-10-2016, dari <http://www.bnpb.go.id/>

Balica, S.F. 2013. Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: a comparison. *Environ. Modelling Softw.*, 41:84–92.

Balica, S., & N.G. Wright. 2010. Reducing the complexity of the flood vulnerability index. *Environ Hazards*, 9:321–339.

Balica, S.F. 2007. Development and application of flood vulnerability indices for various spatial scales-*master Thesis*. UNESCO-IHE, Delft.

Bargaoui, Z.K., & Chebbi, A. 2009. Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *Journal of Hydrology* 365, pp. 56-73.

Bariveni, P.A., C.C. Tawari & J.F.N. Abowei. 2012. Some environmental effects of flooding in the Niger Delta Region of Nigeria. *International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1(1):35-46.

Barroca, B., P. Bernardara, J.M. Mouchel, & G. Hubert. 2006. Indicators for identification of urban flooding vulnerability, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6: 553–561.

Behanzin, I.D., M. Thiel, J. Szarzynski, & M. Boko. 2015. GIS-Based Mapping of Flood Vulnerability and Risk in the Bénin Niger River Valley. *International Journal Of Geomatics And Geosciences*, 6(3,): 1653-1668.

Bertsch, R., V. Glenis, & C. Kilsby. 2017. Urban Flood Simulation Using Synthetic Storm Drain Networks. *Water*, 9(12): 925-

Birkmann, J. 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environ. Hazards* 7:20–31.

Borden, K.A., M.C. Schmidlein, C.T. Emrich, W.W. Piegorsch, & S.L. Cutter. 2007. Vulnerability of US cities to environmental hazards. *J. Homel Secur Emerg Manag.*, 27:4(2).

- BPS Kota Pontianak. 2009 s.d. 2018. *Kota Pontianak Dalam Angka*.
- Bradshaw, C.J., N.S. Sodhi, S.H. Peh & B.W. Brook. 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, 13:2379-2395.
- Braud, I., M. Borga, J. Gourley, M. Hürlimann, M. Zappa, & F. Gallart. 2016. Flash floods, hydro-geomorphic response and risk management. *Journal of Hydrology*, 541(Part A): 1-676.
- Bungin, B. 2004. *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Kencana Pranada Media Group
- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. 1998. *Principles Of Geographical Information System*. London (UK) : Oxford University Press Inc.
- Burrough, P.A. 1986. Priciples of Geographic Information System: Implication for National Resources management in Thailand. *TDR Quarterly Newsletter* 2(4): p.14-18.
- Cannon, T. 1994. Vulnerability analysis and the explanation of "natural" disasters. In: *Disasters, development and environment*, New York, p 19.
- Cardona, O.D., M.K. van Aalst , J. Birkmann , M. Fordham , McGregor G, Perez R, et al (2012) Determinants of risk: exposure and vulnerability coordinating lead authors: lead Authors: review editors: contributing authors: managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation — a special report of working groups I and II of the *intergovernmental panel on climate change* (IPCC), pp 65–108
- Changnon, S.A., & M. Demissie. 1996. Detection of changes in streamflow and floods resulting from climate fluctuations and land use-drainage changes. *Climatic Change*, 32: 411-421
- Chen, Y.-R., C.-H. Yeh, & B. Yu. 2011. Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. *Nat. Hazards*, 59: 1261–1276.
- Chen, X., Q. Cheng, Y.D. Chen, K. Smettem, & C. Xu. 2010. Simulating the integrated effects of topography and soil properties on runoff generation in hilly forested catchments, South China. *Hydrol. Process.*, 24: 714–725.
- Chima, G.N., C.E. Ogbonna, & U.S. Ekpenyong. 2010. Floods: Socio-economic costs and mitigation strategies. In G.N Chima, A.I Kalu (eds). *Contemporary Issues in Environmental Sciences*, Uтуру. Abia State University Press.
- Chuvieco, E. & Salas, F.J. 1996. Mapping the Spatial Distribution of Forest Fire Danger Using GIS. *Int. Jour. Geographical Information System*. Vol. 10(3), p.333-345.
- Chuvieco, E., Salas, F.J. & Vega, C. 1999. *Remote Sensing and GIS for Long-term Fire Risk Mapping in Megafires Project*. Departamento de Geografia Universidad de Alcalà. Spanyol.
- Citra Satelit Landsat7-ETM+ Terhadap Data Observasi Stasiun Cuaca/Iklim Darat (Kasus Provinsi Jawa Barat Bagian Selatan). *Jurnal Agroklimatologi*, IPB, Bogor.
- Connor, R.F., & K. Hiroki. 2005. Development of a method for assessing flood vulnerability. *Water Sci. Techno.*, 51:61–67

Cook, A., & V. Merwade. 2009. Effect of Topographic Data, Geometric Configuration and Modeling Approach on Flood Inundation Mapping. *Journal of Hydrology*, 377(1):131-142.

Crockford, R.H., & D.P. Richardson. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall. Stemflow and interception: Effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*, 14: 2903-2920

Cutter, S.L. 1996. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20: 529-539.

Cutter, S.L., J.T. Mitchell, & M.S. Scott. 2001. Revealing the vulnerability of people and places: A case study of georgetown county, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90: 713-737.

Dang, A.T.N., & L. Kumar. 2017. Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2): 1792-1811.

Dapeng-Huang, R.Z. 2012. An assessment of multidimensional flood vulnerability at the provincial scale in China based on the DEA method. *Nat. Hazards*, 64: 1575–1586.

Das, S. 2018. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 11: 576-xx.

de Kok, J.-L., & M.J. Nh Grossmann. 2010. Large-scale assessment of flood risk and the effects of mitigation measures along the Elbe River. *Nat. Hazards*, 52 (1): 143-166

Demers & Michael, N. 2000. *Fundamentals of Geographic Information System* Second Edition. New York (US): John Wiley and Sons.

Dibiyosaputro, S. 1988. *Bahaya Kerentanan Banjir Daerah Antara Kutoarjo - Prembun*, Jawa Tengah (Suatu Pendekatan Geomorfologi). Fakultas Geografi, UGM. Yogyakarta.

Durotoye, B. 2000. *Geo-environmental constraint in the development of the Niger-Delta Area of Nigeria*: Akingide, Oshuntokun, Eds. Environmental Problems of the Niger Delta. Fredrick Ebert Foundation Lagos.

Dwidasanto, B. 1991. Studi Geomorfologi Terhadap Kerentanan Banjir Daerah Hilir S. Opak Daerah Istimewa Yogyakarta. *Skripsi Sarjana*. Fakultas Geografi, UGM. Yogyakarta.

Dyhouse, G. 2003. *Flood modelling Using HEC-RAS*. First Edition. Haestad Press, Waterbury USA.

Elfaig, A.H.I., Eltom, I.M., & Salih, A. 2013. Rainfall Variability in the Sahel: A Study from Sudan (1970-2010). *International Journal of Scientific and Research Publications*. Vol. 3, Issue 11, Nov. pp 1-8.

Elshorbagy, A., R. Bharath, A. Lakhnopal, S. Ceola, A. Montanari, & K.-E. Lindenschmidt. 2017. Topography- and nightlight-based national flood risk assessment in Canada. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21: 2219–2232.

Emmanouloudis, D., D. Myronidis, & K. Ioannou. 2008. Assessment of Flood Risk in Thasos Island with the Combined Use of Multi-criteria Analysis AHP and



- Geographical Information System. *Innovative Applications of Informatics in Agriculture and Environment*. 2: 103-115.
- Emmanuel, U.A., N. Baywood, A. Gift-Udo, & O.O. Jinnaka. 2015. Flood hazard analysis and damage assessment of 2012 flood in Anambra State using GIS and remote sensing; From *The Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World*; Sofia, Bulgaria.
- Endarto, D. 2005. *Pengantar Kosmografi*, LPP UNS dan UPT UNS Press, Surakarta.
- ESRI. 1996. *PC Understanding GIS the ArcInfo Method*. Environmental System Research Institute Inc. New York. USA.
- Erena, S.H., & H. Worku. 2019. Dynamics of land use land cover and resulting surface runoff management for environmental flood hazard mitigation: The case of Dire Daw city, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22: 100598.
- Etuonovbe A.K. 2011. The devastating effect of flooding in Nigeria. *Paper Presented at the FIG Working Week*, Marrakech, Morocco.
- Faisal I.M., M.R. Kabir, & A. Nishat. 2000. Non structural flood mitigation measures for Dhaka City. *Urban Water*, 1:145-153.
- Farajzadeh, M. 2002. Flood susceptibility zonation of drainage basins using remote sensing and GIS case study area: Gaveh Rod-Iran. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* 6, p.3341-3342.
- Foody, G.M. 2015. Valuing map validation: The need for rigorous land cover map accuracy assessment in economic valuations of ecosystem services. *Ecological Economics*, 111: 23–28
- Füssel, H.M. 2007. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17: 155-167.
- Fussel, H.M. 2009. *Review and quantitative analysis of indices of climate change exposure, adaptive capacity, sensitivity, and impacts*. World bank.
- Fussel, H.M. 2010. How inequitable is the global distribution of responsibility, capability, and vulnerability to climate change: A comprehensive indicator-based assessment. *Glob. Environ Change*, 20:597–611.
- Gallego, F.J. 2004. Remote sensing and land cover area estimation. *Int. J. Remote Sens.*, 25: 3019–3047.
- Gilbert, M.A., Piqueras, J.G., Haro, F.J.G., & Melia, J. 2002. A generalized soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*. pp. 303-310 Elsevier.
- Glenis, V., V. Kutija, & C.G. Kilsby. 2018. A fully hydrodynamic urban flood modelling system representing buildings, green space and interventions. *Environmental Modelling & Software*, 109: 272-292.
- Guzha, A.C., M.C. Rufino, S. Okoth, S. Jacobs, & R.L.B. Nóbrega. 2018. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15: 49-67.
- Hadi, B.S. 2013. Metode Interpolasi Spasial dalam Studi Geografi. *Jurnal Geomedia*. Vol 11(2): pp. 231-240.

Hailin, Z., J. Yi, Z. Xuesong, J. Gaoliao, Y. Yi, & H. Baoyin. 2009. GIS-Based Risk Assessment for Regional Flood Disaster. 2009 *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. Wuhan, China

Hankin, B., S. Waller, G. Astle, & R. Kellagher. 2008. Mapping space for water : screening for urban flash flooding. *Journal of Flood Risk Management*, 1 (1): 13-22

Haq, M., M. Akhtar, S. Muhammad, S. Paras, & J. Rahmatullah. 2012. Techniques of Remote Sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: A case study of Sindh province, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(2): 135-141.

Hardmeyer, K. and M.A.Spencer. 2007. Using Risk-Based Analysis and Geographic Information Systems to Assess Flooding Problems in an Urban Watershed in Rhode Island. *Environmental Management*, 39(4): 563-574.

Haryani, N.S., Kushardono, D., Khomarudin, R., Asni, F., & Parwati. 2001. *Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Cilacap Menggunakan Data Satelit Inderaja dan SIG*. Buku Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Satelit dan SIG Untuk Mitigasi Rawan Bencana. ISBN No. 979-95466-7-2.

Higashino, M., & H.G. Stefan. 2019. Variability and change of precipitation and flood discharge in a Japanese river basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 21: 68-79.

Hsu, W.-K., P. Huang, C. Chang, C. Chen, D. Hung, & W. Chiang. 2011. An integrated flood risk assessment model for property insurance industry in Taiwan. *Nat. Hazards*, 58: 1295-1309.

Huang, Y.F., M. Mirzaei, & W.K. Yap. 2016. Flood analysis in Langat river basin using stochastic model. *International Journal of GEOMATE*, 11: 2796-2803.

Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker, & D.B. Wolff. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multilayer, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrom.*, 8: 38-55.

Hussain, T.P.R.S., Nor, A.R.M., & H. Ismail. 2014. The level of satisfaction towards flood management system in Kelantan, Malaysia. *Pertanika Journal of Social Science and Humanities*, 22: 257-269.

Ileke, W.A, Prijino, S., & Soemarno. 2013. Assessment of Infiltration Rate under Different Drylands Types in Unter-IwesSubdistrict Sumbawa Besar, Indonesia. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(10): 71-76

IPCC. 1992. *Fires assessment WMO/UNEP, overview and policymakers summaries*.

Ishaya, S. 2009. Mapping flood vulnerable areas in a developing urban center of Nigeria. *Journal of sustainable Development in Africa*, 11(4):180-194.

Isma'il, M., & I.O. Saanyol. 2013. Application of Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) in flood vulnerability mapping: Case study of River Kaduna. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 3(3): 618-627.

Ivanov, V.Y., R.L. Bras, & E.R. Vivoni. 2008. Vegetation-hydrology dynamics in complex terrain of semiarid areas: II. Energy-water controls of vegetation



- spatio-temporal dynamics and topographic niches of favorability, *Water Resources Research*, 44: WR005595.
- Jain, V., & R. Sinha. 2003. Geomorphological Manifestations of the Flood Hazard: A Remote Sensing Based Approach. *Geocarto International*, 18(4): 51-60.
- Jaya, N.S. 2002. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk Kehutanan: Penuntun Praktis Menggunakan ArcInfo dan ArcView*. IPB Press. Bogor.
- Jixi-Gao, J.E. 2007. An assessment of flood hazard vulnerability in the Dongting Lake Region of China. *Lakes & Reservoirs Research and Management*, 12:27–34.
- Jonkman, S.N., M. Kok, & J.K. Vrijling. 2008. Flood risk assessment in the Netherlands: A case study for dike ring South Holland. *Risk Analysis*, 28(5): 1357– 1374.
- Jorgensen, S.E. 1986. *Fundamentals of Ecological Modelling*. Elsevier, Amsterdam. New York. ISBN 0444995358.
- Kai, W., C. Deyi, & Y. Zhaohui. 2016. Flood Control and Management for the Transitional Huaihe River in China. *Procedia Engineering*, 154: 703-709.
- Kappes, M., M. Papatoma-Köhle, & M. Keiler. 2012. Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology, *Appl. Geogr.*, 32: 577–590.
- Karagiorgos, K., Thaler, T., Hübl, J., Maris, F., & Fuchs, F. 2016. Multivulnerability analysis for flash flood risk management. *Nat. Hazards*, 82: S63–S87.
- Kartasasmita, A. 2000. Aplikasi ArcView 3.1 untuk Inderaja. *Unpublished*.
- Keppres No. 32 Tahun 1990, tentang *Pengelolaan Kawasan Lindung*.
- Khan, S. 2012. Vulnerability assessments and their planning implications: a case study of the Hutt Valley, New Zealand. *Natural Hazards*, 64: 1587– 1607.
- Klein, R. 2004. Developing a method for addressing vulnerability to climate change and climate. An academic perspective, *Expert Meeting*, Bonn.
- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). 2009. *Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. Ministry of Environment, Indonesia. Jakarta.
- Kodoatie, R.J. 2001. *Beberapa Penyebab dan Metode Pengendalian Banjir dalam Perspektif Lingkungan*. Pustaka Pelajar, Celeban Timur, Yogyakarta.
- Konadu, D.D., & C. Fosu. 2009. Digital Elevation Models and GIS for Watershed Modelling and Flood Prediction – A Case Study of Accra Ghana. In: Yanful E.K. (eds) *Appropriate Technologies for Environmental Protection in the Developing World*. Springer, Dordrecht.
- Konstantinos, P. 2018. The Analytic Hierarchy Process (AHP). *Bahan Ajar*. International Hellenic University.
- Kourgialas, N.N., & G.P. Karatzas . 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2): 212-225.
- Kussul, N.N., B.V. Sokolov, Y.I. Zyelyk, V.A. Zelentsov, S.V. Skakun, & A. Shelestov. 2010. Disaster risk assessment based on heterogeneous

- geospatial information. *Journal of Automation and Information Science*, 42(12): 32–45.
- Legesse, D., C. Vallet-Coulomb, & F. Gasse. 2003. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 275(1-2): 67-85
- Lei, C., & L. Zhu. 2018. Spatio-temporal variability of land use/land cover change (LULCC) within the Huron River: Effects on stream flows. *Climate Risk Management*, 19: 35-47.
- Lein, J.K. 2010. Hazard vulnerability assessment: How well does nature follow our rules? *Environ Hazards*, 9:147–166.
- Leonard, J., Ancelin, O., Ludwig, B., & G. Richard. 2006. Analysis of the dynamics of soil infiltrability of agricultural soils from continuous rainfall-runoff measurements on small plots. *Journal of Hydrology*, 326(1–4): 122–134.
- Li, C., X. Cheng, N. Li, X. Du, Q. Yu, & G. Kan. 2016. A Framework for Flood Risk Analysis and Benefit Assessment of Flood Control Measures in Urban Areas. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13(8): 787.
- Li, G., X. Xiang, Y. Tong, & H. Wang. 2013. Impact assessment of urbanization on flood risk in the Yangtze River Delta. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 27: 1683–1693.
- Li-juan, L., L. Bin, L. Li-quiao, L. Jiu-yi, & L. Yu-mei. 2010. Effect of climate change and land use on stream flow in the upper and middle reaches of the Taoyer River, northeastern China. *For. Stud. in China*, 12: 107-115.
- Lillesand & Kiefer. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Lindgren, D.T. 1985. *Land Use Planning and Remote Sensing*. Martinus Nijhoff Publishing, Dordrecht.
- Linglingue, M. 2017. Assessment of the variability of spatial interpolation methods using elevation and drill hole data over the Magmont Mine area, South-East Missouri. *Thesis*. University of Missouri-Columbia.
- Lipiec, J., Kuś, J., Słowińska-Jurkiewicz, A., & A. Nosalewicz. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research*, 89(2): 210–220.
- Liu, Q., H. Yang, M. Liu, R. Sun, & J. Zhang. 2019. An Integrated Flood Risk Assessment Model for Cities Located in the Transitional Zone between Taihang Mountains and North China Plain: A Case Study in Shijiazhuang, Hebei, China. *Atmosphere*, 10(104) 1-15.
- Li, Z.J., H.J. Bao, C.S. Xue, Y.Z. Hu, & H. Fang. 2008. Real-time flood forecasting of Huai River with flood diversion and retarding areas. *Water Science and Engineering*, 1(2): 10-24.
- Lu, G.Y. & Wong, D.W. 2008. An Adaptive Inverse Distance Weighting Spatial Interpolation Technique. *Computers and Geosciences* 34: pp. 1044-1055.
- Malla, M.A., Rather, M.A., Teli, M.N., & Kuchhay, N.A. 2014. Comparison of Spatial Interpolation Techniques – A Case Study of Anantnag District J & K, India. *International Journal of Modern Engineering Research*. Vol. 4, Iss. 11, Nov. 2014, pp 59-67.

- Manfreda, S., M. Di Leo, & A. Sole. 2011. Detection of Flood-Prone Areas Using Digital Elevation Models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(10): 781-790.
- Maqsood, T., M. Wehner, S. Alam, S. Howie, M. Edwards, & P. Garland. 2017. Development of flood vulnerability models for commercial buildings in Australian Central Business Districts. Conference: 2017 *Floodplain Management Australia National Conference*, At Newcastle, Australia. 9p.
- Martha, S. 2011. *Buku Panduan Membaca Peta Rupabumi Indonesia*. Pusat Pelayanan Jasa dan Informasi Bakosurtanal.
- Martins, J.A., V.S. Brand, M.N. Capucim, C.B. Machado, D.G.A. Piccilli, & L.D. Martins. 2016. The Impact of Rainfall and Land Cover Changes on the Flow of a Medium-sized River in the South of Brazil. *Energy Procedia*, 95: 272-278.
- Maryono, A. dalam Danoedoro, Projo. 2008. Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Respons Debit dan Bahaya Banjir, *PUSPICS Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada*, 19 – 26.
- Maselino, A. 2002. *Modul Pelatihan Sistem Informasi Geografis*.
- Masood, M. and K.Takeuchi. 2012. Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of mid-eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model, *Nat. Hazards*, 61: 757–770.
- Masoudian, M., & S. Theobald. 2011. Influence of land surface topography on flood hydrograph. *Journal of American Science*, 7(11): 354-361.
- Matheussen, B., R. Kirschbaum, I.A. Goodman, G.M. O'Donnel, & D.P. Lettenmaier. 2000. Effects of land cover change on streamflow in the interior Columbia river basin (USA and Canada). *Hydrological Processes*, 14: 867-885
- Matori, A.N. , D.U. Lawal, K.W. Yusof, M.A. Hashim, & A.-L. Balogun. 2014. Spatial Analytic Hierarchy Process Model for Flood Forecasting: An Integrated Approach. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* 20 (2014) 012029. 7p. doi:10.1088/1755-1315/20/1/012029
- Menoni, S., & F. Pergalani. 1996. An attempt to link risk assessment with land use planning: arecent experience in Italy. *Disaster Prev. Manage.*, 5:5–6
- Meyer, V., S. Scheuer, & D. Haase. 2009. A Multi-criteria Approach for Flood Risk Mapping Exemplified at the Mulde River, Germany. *Natural Hazards*. 48: 17-39.
- Michel-Dansac, V., C. Berthon, S. Clain, & F. Foucher. 2016. A well-balanced scheme for the shallow-water equations with topography. *Computers & Mathematics with Applications*, 72(3): 568-593.
- Mileti, D. 1999. *Disasters by design: a reassessment of natural hazards in the United States*. National Academies Press.
- Mohammed, M.P. 2018. Flood Hazard Zoning of Tarlac City: Towards the Development of Flood Overlay Zones and Provision. *Procedia Engineering*, 212: 69-76.
- Molinari, D., K.M. De Bruijn, J.T. Castillo-Rodríguez, G.T. Aronica, & L.M. Bouwer. 2018. Validation of flood risk models: current practice and possible

- improvements. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, DOI: 10.1016/j.ijdrr.2018.10.022
- Monanu, P.C. 1975. *Rainfall*. In: *Nigeria in maps: Eastern States, Ofomata GEK*, (Ed). Ethiope Publishing House, Benin City, Nigeria. p.25-26.
- Morita, M., 2008. Flood risk analysis for determining optimal flood protection levels in urban river management. *J. Flood Risk Manag.*, 1 (3): 142-149
- Mukundan, R., N. Acharya, R.K. Gelda, A. Frei, & E.M. Owens. 2019. Modeling streamflow sensitivity to climate change in New York City water supply streams using a stochastic weather generator. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 21: 147-158
- Müller, A., J. Reiter, & U. Weiland. 2011. Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11: 2107–2123.
- Muoghalu, L.M., & M. Okonkwo. 2000. Effects of urban flooding in Awka, Capital of Anambra State. *Environmental Review*, 2:74-81.
- Musa, J.J., S.C. Anijiofor, P. Obasa, J.J. Avwevuruvwe. 2017. Effects of soil physical properties on erodibility and infiltration parameters of selected areas in Gidan Kwano. *Nigerian Journal of Technological Research*, 12(1):x-xx
- Næss, L.O. 2006. Data and processes linking vulnerability assessment to adaptation decision-making on climate change in Norway. *Glob Environ Change*, 16:221–233.
- Nagase, A., & N. Dunnett. 2012. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning*, 104(3-4): 356-363.
- Najiyati, S. 1997. *Studi Pengembangan Lahan Pasang Surut*. Puslitbangtrans. Jakarta.
- Naoum, S. & Tsanis, I.K. 2004. Ranking Spatial Interpolation Techniques Using A GIS-Based DSS. *Global Nest The Int. J.* Vol 6, No. 1, pp. 1-20.
- Nasiri, H., & S.K. Shahram. 2013. Flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment in urban area. *Journal of Novel Applied Sciences*, 2: 269-272.
- Nasiri, H., M.J.M. Yusof, & T.A.M. Ali. 2016. An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustain. Water Resour. Manag.* DOI 10.1007/s40899-016-0051-x.
- Nie, W., Y. Yuan, W. Kepner, M.S. Nash, M. Jackson, & C. Erickson. 2011. Assessing impacts of Landuse and Landcover changes on hydrology for the upper San Pedro watershed. *Journal of Hydrology*, 407(1–4): 105-114
- Ningsih D.H.U. 2012. Metode Thiessen Poligon untuk Ramalan Sebaran Curah Hujan Periode Tertentu pada Wilayah yang Tidak Memiliki Data Curah Hujan. *Jurnal Teknologi Informasi Dinamik*. 17(2): pp. 154-156.
- Njoku, J.D., G.T. Amangabara, P.N. Duru. 2013. Spatial assessment of urban flood risks in Aba metropolis using geographic information systems techniques. *Global Advanced Research Journal of Environmental Science and Toxicology*, 2: 86-92.

- Nkeki, F., P. Henah, & V. Ojeh. 2013. Geospatial techniques for the assessment and analysis of flood risk along the Niger Benue Basin in Nigeria. *Journal of Geographic Information System*, 5(2):123-135. DOI: 10.4236/jgis.2013.52013
- Ntajal, J., B.L. Lamptey, I.B. Mahamadou, & B.K. Nyarko. 2017. Flood disaster risk mapping in the Lower Mono River Basin in Togo, West Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23: 93-103.
- Nugroho, S.P. 2002. Evaluasi dan Analisis Curah Hujan Sebagai Faktor Penyebab Banjir Jakarta. *J Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca* 3(2): 91-97.
- Nwilo, P.C. 2013. Geospatial information in flooding and disaster management in Nigeria. 7th Annual Lecture. *Faculty of Environmental Sciences*, Nnamdi Azikiwe University, Awka.
- Offiong, R.A., & D.I. Eni. 2007. *Urban floods: An appraisal of the effect of flooding on urban infrastructure in Calabar metropolis, Cross River State. Urbanization, Resource Exploitation and Environmental Stability in Nigeria*, Joyuce Graphic Printers and Publishers, Kaduna.
- Ogbonna, C.E., F. Ike, & V.U. Okwu-Delunzu. 2015. Spatial assessment of flood vulnerability in Aba urban using geographic information system technology and rainfall information. *International Journal of Geosciences*, 6:191-200.
- Olsen, A.S., Zhou, Q., Linde, J.J., & K. Arnbjerg-Nielsen. 2015. Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. *Water*, 7 (1): 255-270
- Onwuka, S.U., F.O. Ikekpeazu, & D.C. Onuoha. 2015. Assessment of the environmental effects of 2012 floods in Umuleri, Anambra East Local Government Area of Anambra State, Nigeria. *International Research Journal of Natural Sciences*, 3(1):1-15.
- Opolot, E. 2013. Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: A review. *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, 6(10):1884-1894.
- Oubennaceur, K., K. Chokmani, M. Nastev, R. Lhissou, & A. El Alem. 2019. Flood risk mapping for direct damage to residential buildings in Quebec, Canada. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33: 44-54.
- Öztürk, M., N.K. Coptý, & A.K. Saysel. 2013. Modeling the impact of land use change on the hydrology of a rural watershed. *Journal of Hydrology*, 497: 97-109.
- Pandey, A.C., S.K. Singh, & M.S. Nathawat. 2010. Waterlogging and flood hazards vulnerability and risk assessment in Indo Gangetic plain. *Nat Hazards*, 55:273-289 .
- Papathoma-Köhle, M. 2016. Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16: 1771-1790.
- Park A., & J.L. Cameron. 2008. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. *Forest Ecology and Management*, 255: 1915-1925

- Pasaribu, J.M. & Haryani, N.S. 2012. Perbandingan Teknik Interpolasi DEM SRTM dengan Metode Inverse Distance Weighted (IDW), Natural Neighbor, dan Spline. *Jurnal Pengindraan Jauh*, Vol. 9 No. 2. pp. 126-139.
- Pelling M. et al. 2004. Reducing disaster risk a challenge for development. *United Nations Development Programme — Bureau for Crisis Prevention and Recovery*. doi:10.1007/ s003450050172.
- Peraturan Daerah Kota Pontianak No. 2 tahun 2013. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pontianak Tahun 2013 – 2033*.
- Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial. 2013. No P.4/V-SET/2013, tentang *Petunjuk Teknis Penyusunan Penyusunan Data Spasial Lahan Kritis*.
- Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Daerah aliran Sungai dan Hutan Lindung. 2018. No. P.3/PDASHL/SET/KUM.1/7/2018, tentang *Petunjuk Teknis Penyusunan Data Spasial Lahan Kritis*.
- Plate, E.J. 2002. Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology* 267: 2–11.
- Pradhan, B., S. Pirasteh, & M. Shafie. 2009. Maximum flood prone area mapping using RADARSAT images and GIS: Kelantan river basin. *International Journal of Geoinformatics*, 5 (2): 11-23
- Prahasta, E. 2015. *SIG: Tutorial ArcGis untuk bidang geodesi dan geomatika*. Informatika Bandung.
- Prahasta, E. 2014. *SIG: Konsep-konsep dasar perspektif geodesi dan geomatika*. Informatika Bandung.
- Pramono, G.H. 2008. Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi. *Forum Geografi*. Vol. 22 No. 1. pp. 145-158.
- Pranoto, S.A., Priyo, N., Dyah, A.W., & Suharyanto. 2011. *Laporan akhir penelitian pemodelan sistem informasi geografis (SIG) dalam analisis distribusi ruang debit banjir (Spatial Distribution of Flood) Sungai Bringin*.
- Price, K. 2011. Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. *Prog. Phys. Geogr.*, 35: 465–492.
- Price, K., C.R. Jackson, A.J. Parker, T. Reitan, J. Dowd, & M. Cyterski. 2011. Effects of watershed land use and geomorphology on stream low flows during severe drought conditions in the southern Blue Ridge Mountains, Georgia and North Carolina, USA. *Water Resour. Res.*, 47, W02516.
- Primayuda, A. 2006. Pemetaan Daerah Bahaya dan Resiko Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis: studi kasus Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. *Tugas Akhir*. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Purnama, A. 2008. Pemetaan Kawasan Rawan Banjir Di Daerah Aliran Sungai Cisadane Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Skripsi*. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Purwadi, S.H. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: Grasindo.
- Quyen, N.T.N., N.D. Liem, & N.K. Loi. 2014. Effect of land use change on water discharge in Srepok watershed, Central Highland, Viet Nam. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(3): 74-86.

- Rallyanti, P. 2007. Evaluasi Potensi Banjir DAS Citarum dengan Pemodelan Spasial. *Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, FTSL, ITB. Bandung.
- Ramlal, B., & S.M.J. Baban. 2008. Developing a GIS based integrated approach to flood management in Trinidad, West Indies. *Journal of Environmental Management*, 88(4): 1131-1140.
- Riggs, H.C. 2000. Streamflow Characteristics. Volume 22, 1st Edition. 248p. Elsevier Science. eBook ISBN: 9780080870137.
- Rimba, A.B., M.D. Setiawati, A.B. Sambah, & F. Miura. 2017. Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. *Urban Sci.*, 1(7): 22p.
- Rosyidie, A. 2001. Mitigasi Bencana Banjir. *Harian Pikiran Rakyat*.
- Saaty, R.W. 1987. The Analytic Hierarchy Process-What It Is and How It Is Used. *Math Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176.
- Saaty, T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98.
- Saaty, T.L. 2003. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operation Research* 145, pp. 85-91.
- Saaty, T.L. 1994. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces* Vol. 24, No. 6, pp. 19-43.
- Saaty, T.L. 1989. *The Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Analytic Network Process (ANP) for Decision Making*. Viking Penguin.
- Sabins, F.F Jr, 1978, *Remote Sensing Principles and Interpretation*, W.H Freeman and Co, San Fransisco
- Sajjadi, S.A.M., M. Mirzaei, A.F. Nasab, A. Ghezeli, G. Tadayonfar, & H. Sarkardeh. 2016. Effect of soil physical properties on infiltration rate. *Geomechanics and Engineering*, 10(6):727-736.
- Samarasinghea, S.M.J.S., H.K. Nandalalb, D.P. Weliwitiyac, J.S.M. Fowzed, M.K. Hazarikad, & L. Samarakoond. 2010. Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis: A case study at Kalu- Ganga River, Sri Lanka. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38(B): 110-115.
- Santoso, E.B. 2013. Manajemen Risiko Bencana Banjir Kali Lamong pada Kawasan Peri-Urban Surabaya-Gresik Melalui Pendekatan Kelembagaan. *Jurnal Penataan Ruang*, Volume 8, Nomor 2, Halaman 48-59.
- Schanze, J., E. Zeman, & J. Marsalek. (eds) 2007. *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures*, vol.67. Springer
- Schumann, G., & G. Di-Baldassarre. 2010. The direct use of radar satellites for event-specific flood risk mapping. *Remote Sensing Letters*, 1(2): 75– 84.
- Setiawan I, & Rohmat, D. 2011. Zonasi Fisiomorfohidro di Jawa Barat dengan Menggunakan Aplikasi SIG. *J GEA*. 11(1): 36-48.
- Seyhan. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Sinha, R., G. Bapalu, L. Singh, & B. Rath. 2008. Flood risk Analysis in the Kosi River Basin, North Bihar Using Multi-Parametric Approach of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 36: 335-349.

Siriwardena, L., B.L. Finlayson, & T.A. McMahon. 2006. The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia. *Journal of Hydrology*, 326(1-4): 199-214.

Skakun, S., N. Kussul, A. Shelestov, & O. Kussul. 2014. Flood Hazard and Flood Risk Assessment Using a Time Series of Satellite Images: A Case Study in Namibia. *Risk Analysis*, 34(8): 1521-1537.

Smith, B.A. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environ Change*, 16: 282–292.

Smith, J.A., M.L. Baeck, G. Villarini, & W.F. Krajewski. 2010. The Hydrology and Hydrometeorology of Flooding in the Delaware River Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 11(4): 841-885.

Smith, K. 2001. *Environmental hazards: Assessing risk and reducing hazards*. 3rd Edition, Routledge, New York.

Smith, S.E., & D. Hersey. 2008. Analysis of watershed vulnerability to flooding in Haiti. *World Applied Sci. J.*, 4: 869-885.

Stehman, S.V. 2013. Estimating area from an accuracy assessment error matrix. *Remote Sens. Environ.*, 132: 202–211.

Stehman, S.V., & R.L. Czaplewski. 1998. Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles. *Remote Sens. Environ.* 64, 331–344.

Suripin, D.K. 2016. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Hidrograf Banjir di Kanal Banjir Timur Kota Semarang. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil* Volume 22 no 2.

Takemoto, S. 2011. Moving towards climate smart flood management in Bangkok and Tokyo-Master thesis. Massachusetts institute of technology.

Tanguy, M., K. Chokmani, M. Bernier, J. Poulin, & S. Raymond. 2017. River flood mapping in urban areas combining Radarsat-2 data and flood return period data. *Remote Sens. Environ.*, 198: 442-459

Tariq, M.A.U.R., & N. de Giesen. 2012. Floods and flood management in Pakistan. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 47–48: 11-20

Taubenbock, H., M. Wurm, M. Netzband, H. Zwenzner, A. Roth, A. Rahman, & S. Dech. 2011. Flood risks in urbanized areas—Multi-sensoral approaches using remotely sensed data for risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 431-444.

Tehrany, M.S., B. Pradhan, & M.N. Jebur. 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512: 332-343.

Tehrany, M.S., B. Pradhan, S. Mansor, & N. Ahmad. 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125:91–101.

Tekeli, A.E. 2017. Exploring Jeddah Floods by Tropical Rainfall Measuring Mission Analysis. *Water*, 9: 612.

Thiessen, A.H. 1991. Precipitation Averages for Large Areas. *Monthly Weather Review*. Vol. 39, pp. 1082-1084.

Tingsanchali, T. 2012. Urban flood disaster management. *Procedia Engineering*, 32: 25-37.

Tirupathi, C., T. Shashidhar, & R. Srinivasan. 2018. Analysis of rainfall extremes and water yield of Krishna river basin under future climate scenarios. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 19: 287-306.

Triantaphyllou, E. & Mann, S.H. 1995. Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. *International journal of Industrial Engineering: Application and Practice*. Vol. 2 No. 1, pp. 35-44.

Triatmodjo, B. 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta (ID): Beta Offset.

Turner, B.L. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 100: 8074–8079.

Ugoyibo, O.D.V., O.C. Enyinnaya, & L. Souleman. 2017. Spatial Assessment of Flood Vulnerability in Anambra East Local Government Area, Nigeria Using GIS and Remote Sensing. *British Journal of Applied Science & Technology* 19(5): 1-11.

UN. 1982. Proceedings of the seminars on flood vulnerability analysis and on the principles of floodplain management for flood loss prevention. Bangkok.

Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007, tentang *Penanggulangan Bencana*.

Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007, tentang *Penataan Ruang*.

UNDP. 2004. *Reducing disaster risk. A challenge for development*. Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BRCP), New York.

UNISDR. 2009. *Terminology on disaster risk reduction*. Retrieved from The united nations office for disaster risk reduction.

USGS. 2014. Using the USGS Landsat 8 Product. Dari [URL:https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product](https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product). dikunjungi pada tanggal 28 Oktober 2016.

Valeo, C., & P. Rasmussen. 2000. Topographic Influences on Flood Frequency Analyses. *Canadian Water Resources Journal*, 25(4): 387-406

van der Gugten, N. 1992. Hydrology of floods in Canada — a guide to planning and design. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 19(3): 543-544.

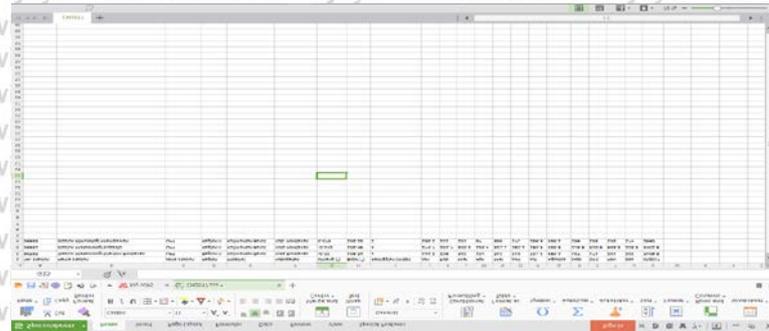
Wang, Y., Z. Li, Z. Tang, & G. Zeng. 2011. A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resour. Manag.*, 25: 3465–3484.

Wang, C., S. Shang, D. Jia, Y. Han, S. Sauvage, J.-M. Sánchez-Pérez, K. Kuramochi, & R. Hatano. 2018. Integrated Effects of Land Use and Topography on Streamflow Response to Precipitation in an Agriculture-Forest Dominated Northern Watershed. *Water*, 10(633): 21p.

Watson D.F & Philip G.M. 1985. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. *Journal Geo Processing*. Vol 2. pp. 315-327.

- Welde, K., & B. Gebremariam. 2017. Effect of land use land cover dynamics on hydrological response of watershed: Case study of Tekeze Dam watershed, northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(1): 1-16.
- Widiati, A. 2008. Aplikasi Manajemen Risiko Bencana Alam dalam Penataan Ruang Kabupaten Nabire. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* Vol. 10 No. 1 April 2008:7-15.
- Widjaja, A.I.P.G. 1986. Pengelolaan Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. *Jurnal Litbang Pertanian* V (1): 1 - 9.
- Widjaja, A.I.P.G. & Didi, A., & Mansyur. 1993. *Pengelolaan Lahan dan Air Lahan Pasang Surut*. Puslitbangtrans. Jakarta.
- Widjaja, A.I.P.G. 1995. Potensi, Peluang, dan Kendala Perluasan Areal Pertanian di Lahan Rawa, *Makalah Seminar Pengembangan Lahan pertanian di Kawasan Timur Indonesia*, Puspitek, Serpong.
- Wilson, E.M. 1993. *Hidrologi Teknik*. Edisi ke-4, Penerbit ITB, Bandung.
- Wisner, B. 2004. Chapter 1: *The challenge of disasters and our approach*. In: *At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. Routledge, London.
- Wu, Y., P. Zhong, Y. Zhang, B. Xu, B. Ma, & K. Yan. 2015. Integrated flood risk assessment and zonation method: A case study in Huaihe River basin, China. *Nat. Hazards*, 78: 635–651.
- Xie, L., & H. Zhao. 2013. Correlation between flood disaster and topography: A case study of Zhaoqing City. *Journal of Natural Disasters*, 22(6):240-245.
- Yira, Y., B. Diekkrüger, G. Steup, & A.Y. Bossa. 2016. Modeling land use change impacts on water resources in a tropical West African catchment (Dano, Burkina Faso). *Journal of Hydrology*, 537: 187-199.
- Zeiringer, B., C. Seliger, F. Greimel, & S. Schmutz. 2018. River Hydrology, Flow Alteration, and Environmental Flow. *Riverine Ecosystem Management*. pp 67-89.
- Zhang, Y.-L., & W.-J. You. 2013. Social vulnerability to floods: A case study of Huaihe River Basin. *Nat. Hazards*, 71: 2113–2125.
- Zhijia, L., W. Lili, B. Hongjun, S. Yu & Y. Zhongbo. 2008. Rainfall-runoff simulation and flood forecasting for Huaihe Basin. *Water Science and Engineering*, 1(3): 24-35.
- Zimmerman, D., Pavlik, C., Ruggles, A., & Armstrong, M.P. 1999. An Experimental Comparison of Ordinary and Universal Kriging and Inverse Distance Weighting. *Mathematical Geology*, 31 (4), pp. 375-390.

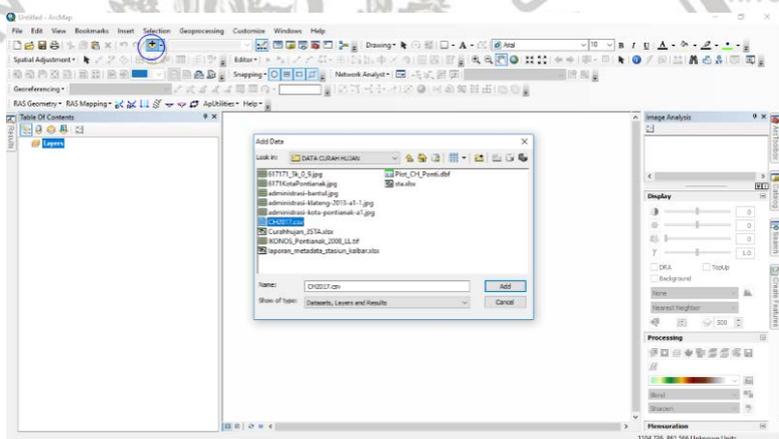
Lampiran 1. Proses pembuatan peta curah hujan



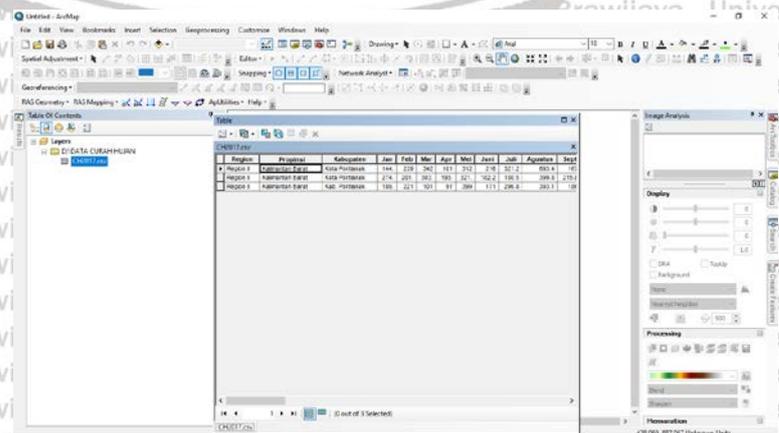
Gambar L1.1. Data curah hujan 2017 dalam spreadsheet

No.	Stasiun	Nama Stasiun	Jenis Stasiun	Region	Propinsi	Kabupaten	Lintang (°)	Bujur (°)	Ketinggian (mdpl)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Ok
1	96585	Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak	UPT	Region II	Kalimantan Barat	Kota Pontianak	-0.030	109.340	4.144	2.239	0.342	0.101	0.312	0.216	0.321	2.692			
3	96581	Stasiun Meteorologi Supadio	UPT	Region II	Kalimantan Barat	Kota Pontianak	-0.142	109.450	3.274	7.201	7.303	5.193	4.321	1.182	2.180	3.399	8.215	8.3	
4	96583	Stasiun Klimatologi Mempawah	UPT	Region II	Kalimantan Barat	Kab. Pontianak	0.075	109.190	2.189	1.221	0.101	0.970	0.399	0.171	0.296	8.393	1.186	0.1	

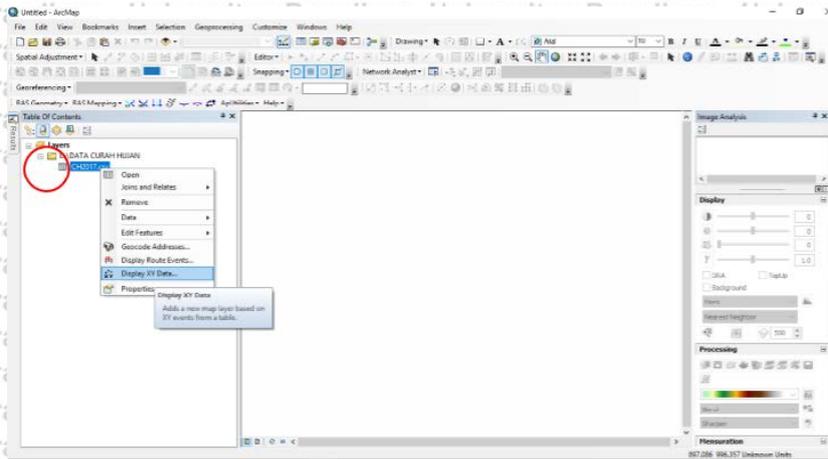
Gambar L1.2. Data curah hujan 2017 dalam format excel



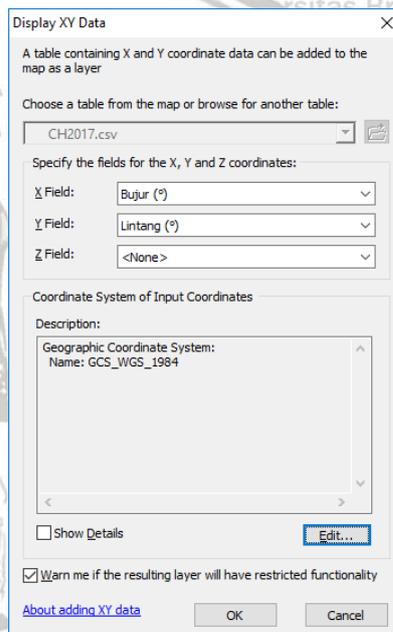
Gambar L1.3. Add data curah hujan pada ArcMap



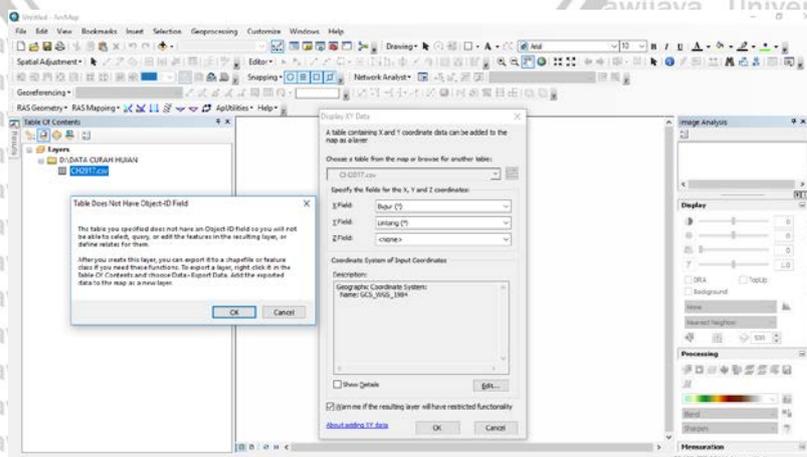
Gambar L1.4. Tampilan file csv yang berhasil di masukkan ke ArcMap



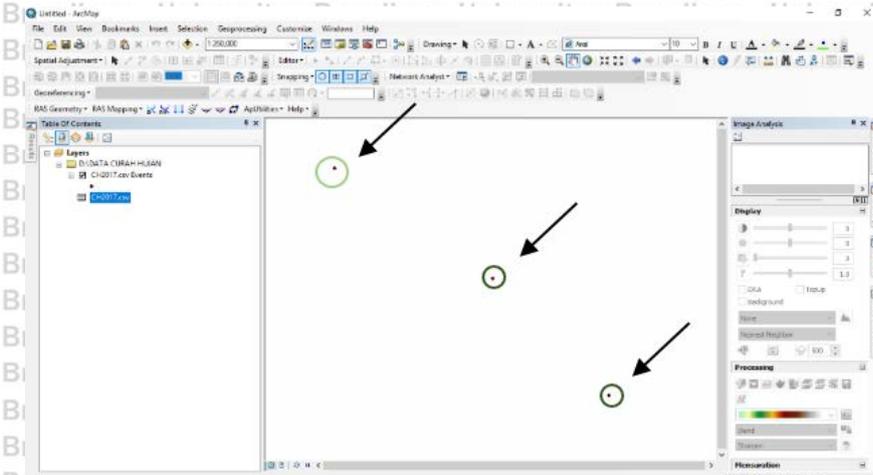
Gambar L1.5. Plotting dengan tools display xy data



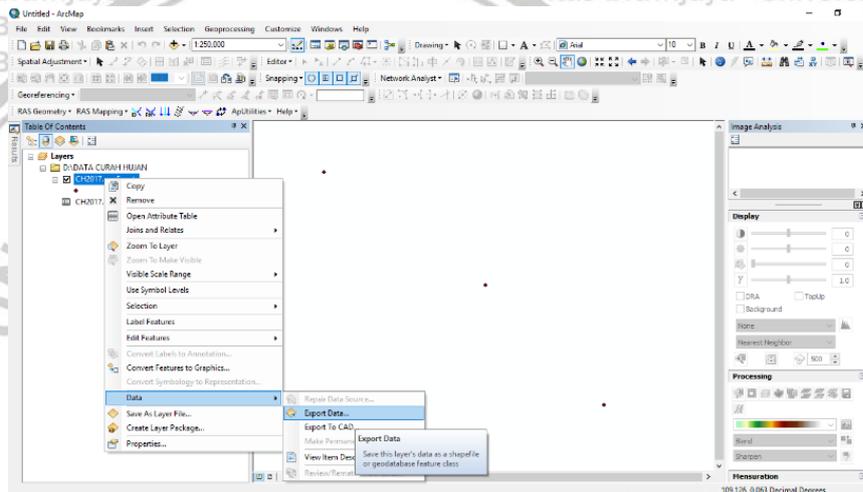
Gambar L1.6. Sistem proyeksi menggunakan GCS elipsoid WGS 1984



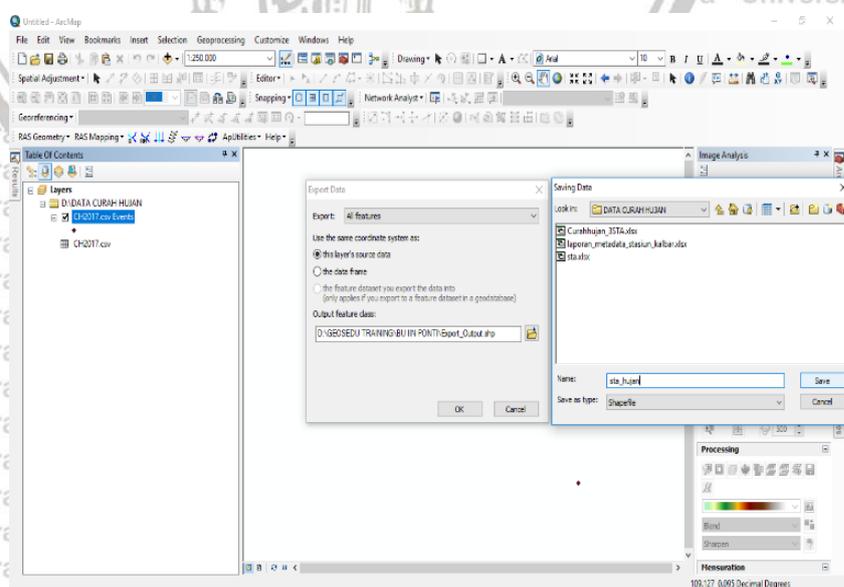
Gambar L1.7. Data dari spreadsheet tidak ada idnya



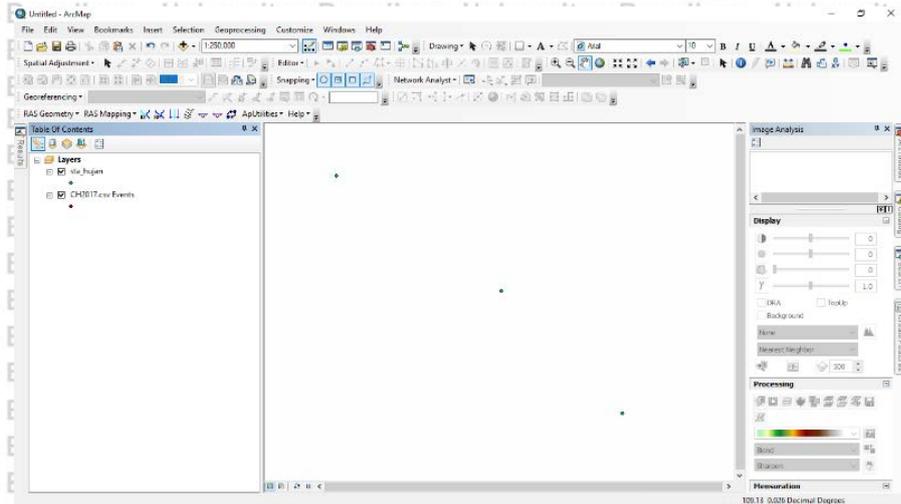
Gambar L1.8. Hasil event points yang masih layer semu



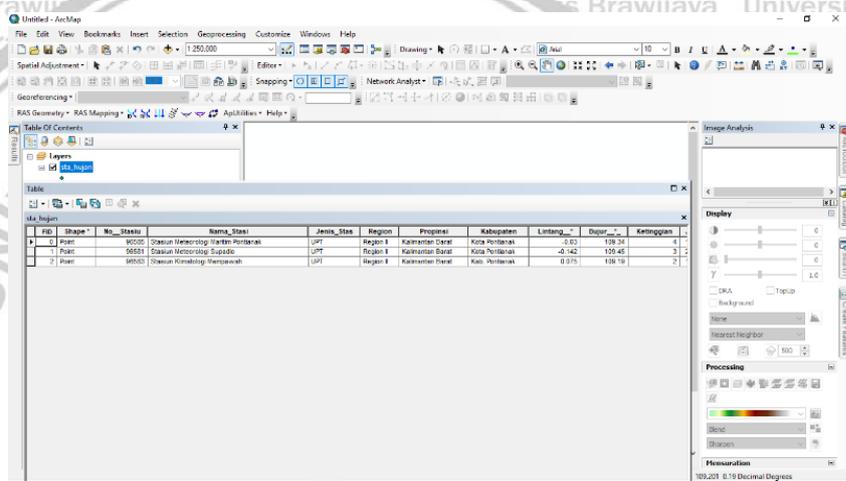
Gambar L1.9. Ekspor data



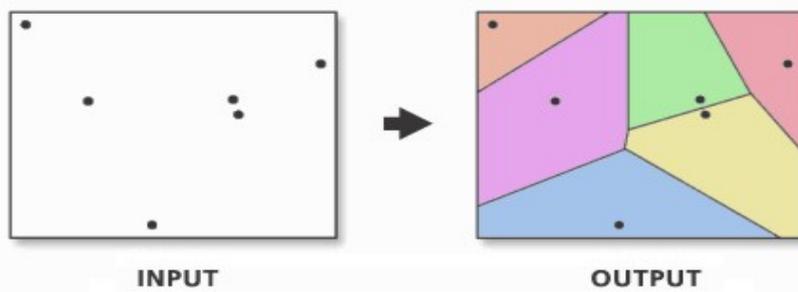
Gambar L1.10. Hasil proses ekspor data



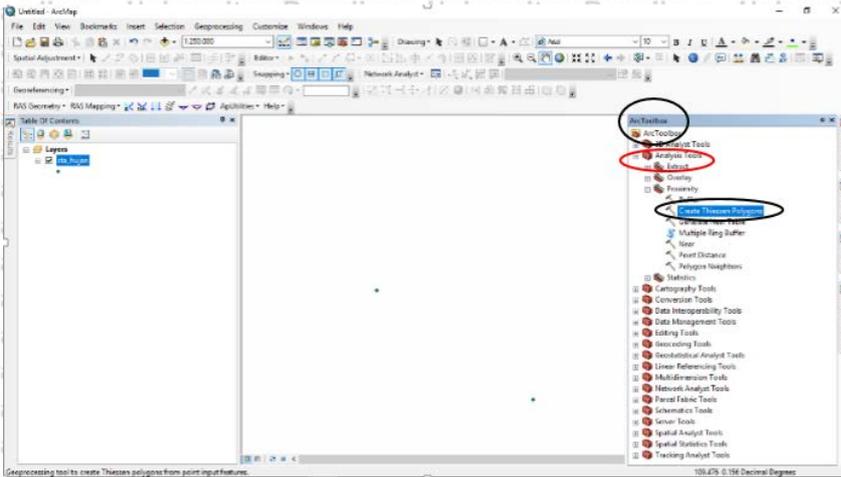
Gambar L1.11. Remove atau hapus layer event points



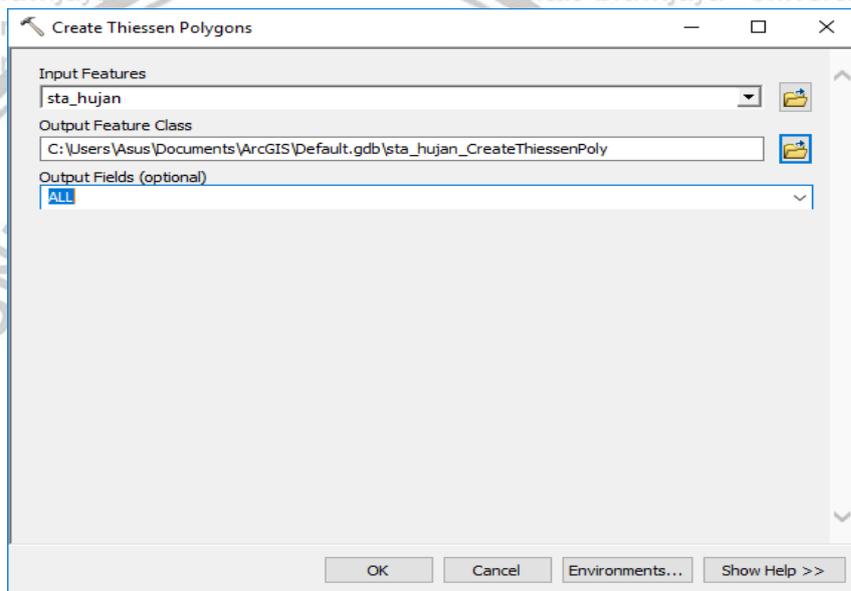
Gambar L1.12. Data Atribut



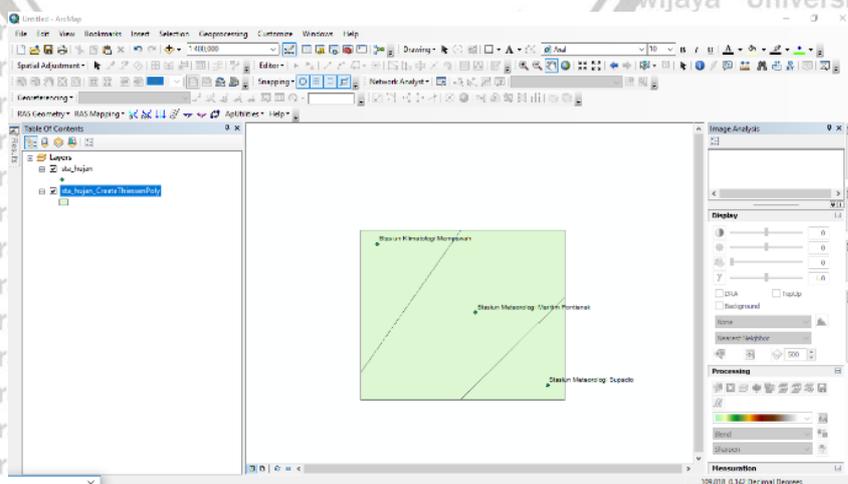
Gambar L1.13. Input dan output poligon Thiessen



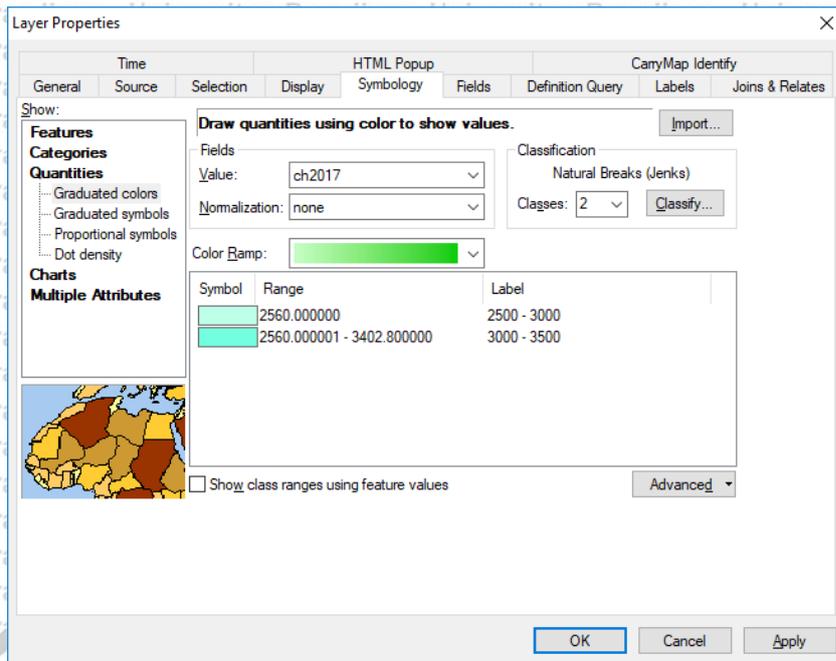
Gambar L1.14. Kotak dialog arc Toolbox



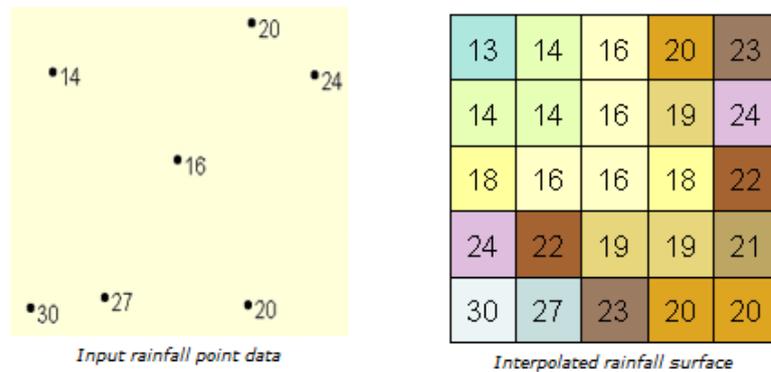
Gambar L1.15. Kotak dialog pada create Thiessen Polygons



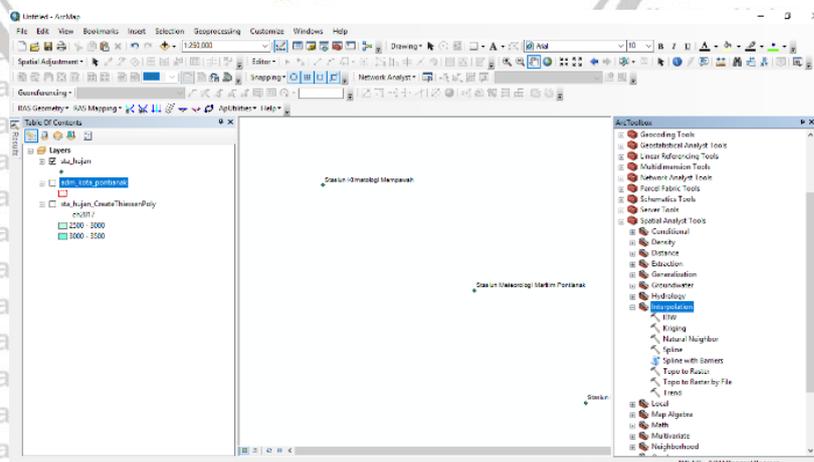
Gambar L1.16. Hasil Thiessen Polygons



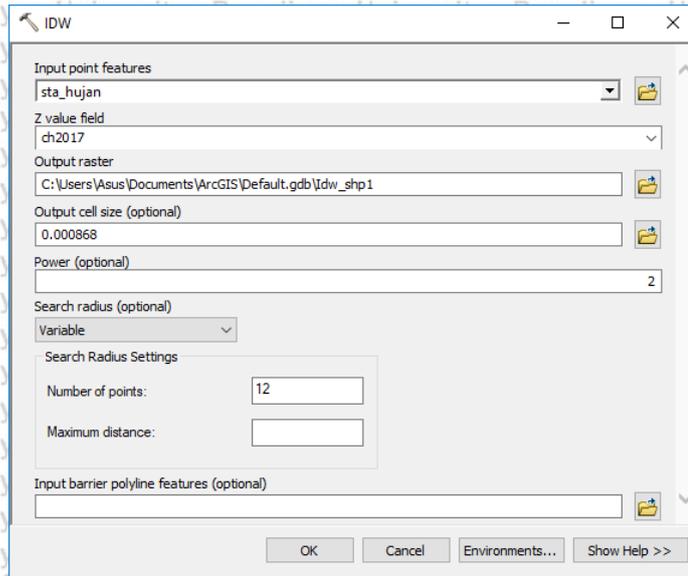
Gambar L1.17. Proses pengelasan



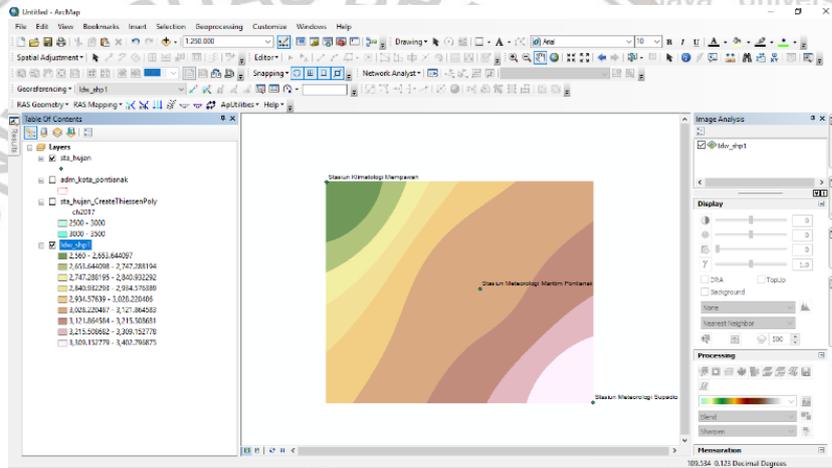
Gambar L1.18. Data sebaran stasiun hujan yang diinterpolasi menjadi raster



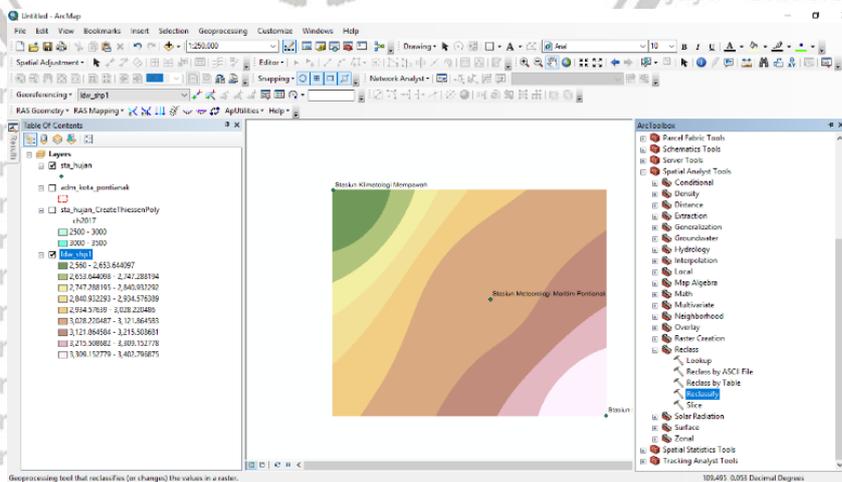
Gambar L1.19. Kotak dialog proses interpolasi



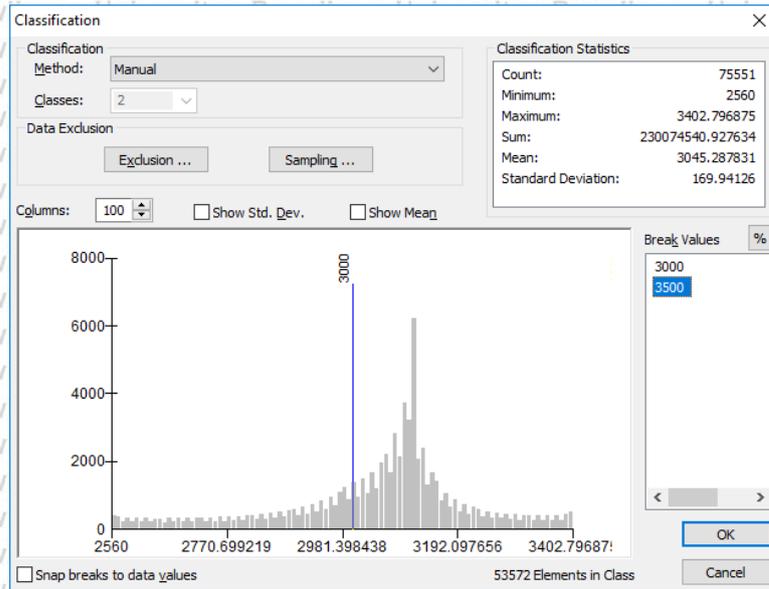
Gambar L1.20. Kotak dialog proses interpolasi IDW



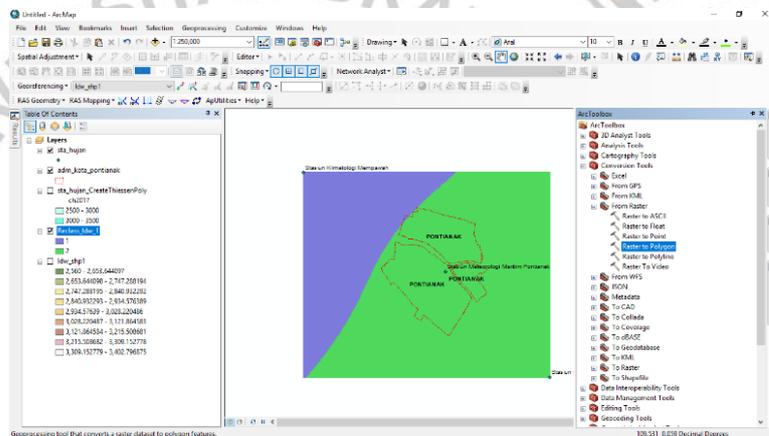
Gambar L1.21. Hasil interpolasi



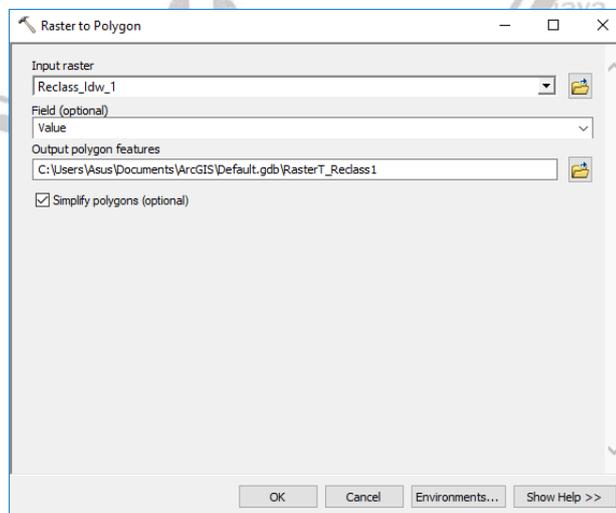
Gambar L1.22. Hasil interpolasi sembilan kelas



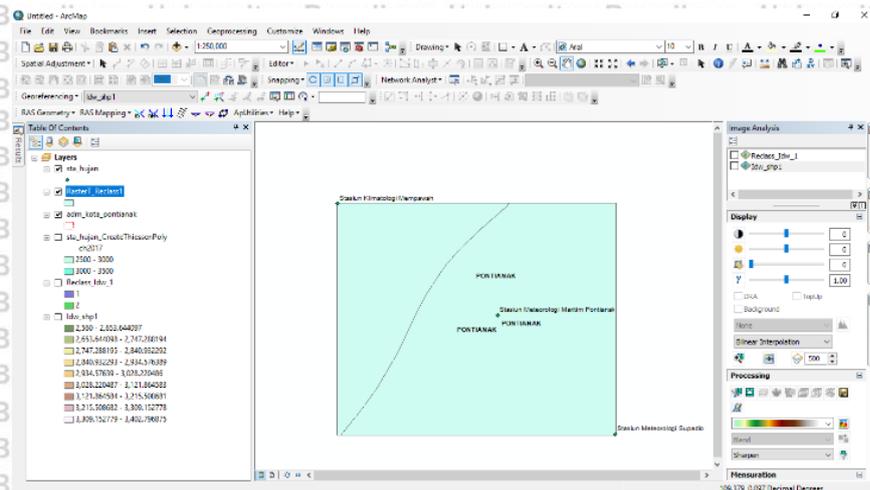
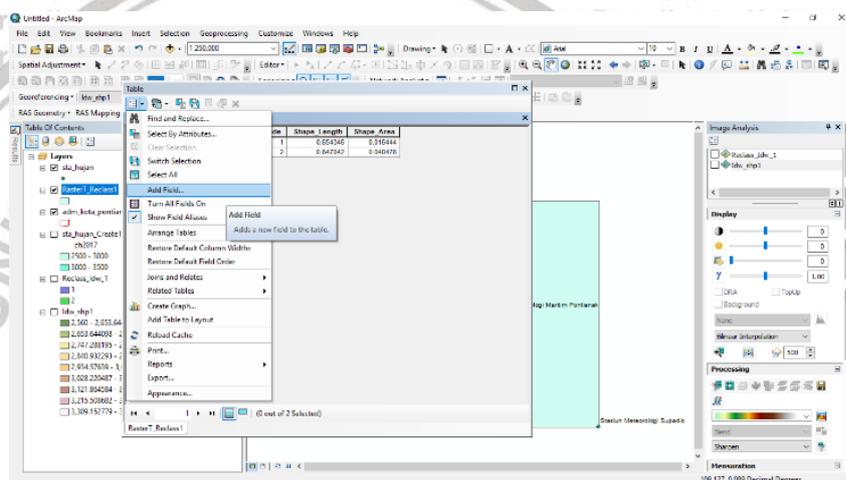
Gambar L1.23. Hasil klasifikasi berdasarkan minimum dan maksimum data



Gambar L1.24. Hasil konversi raster ke poligon



Gambar L1.25. Konversi raster menjadi *shapefile*

Gambar L1.26. Hasil konversi raster menjadi *shapefile*Gambar L1.27. Proses membuat *field* baru *c_hujan*

Add Field ✕

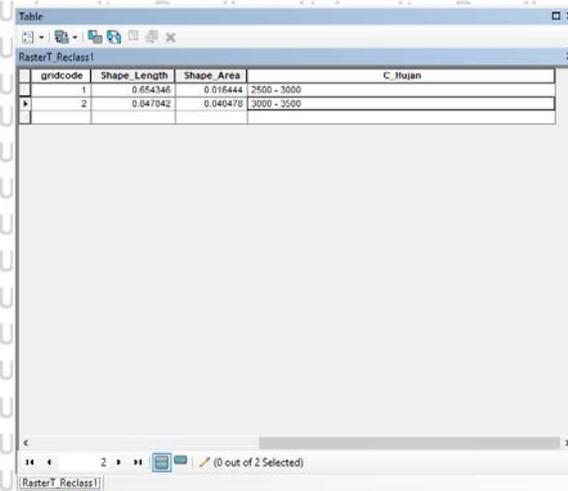
Name:

Type:

Field Properties

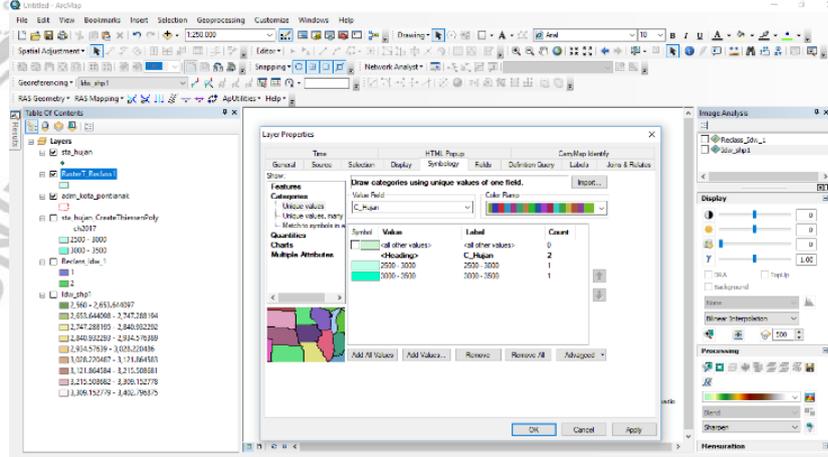
Alias	
Allow NULL Values	Yes
Default Value	
Length	50

Gambar L1.28. Menamai *field* pada tabel atribut



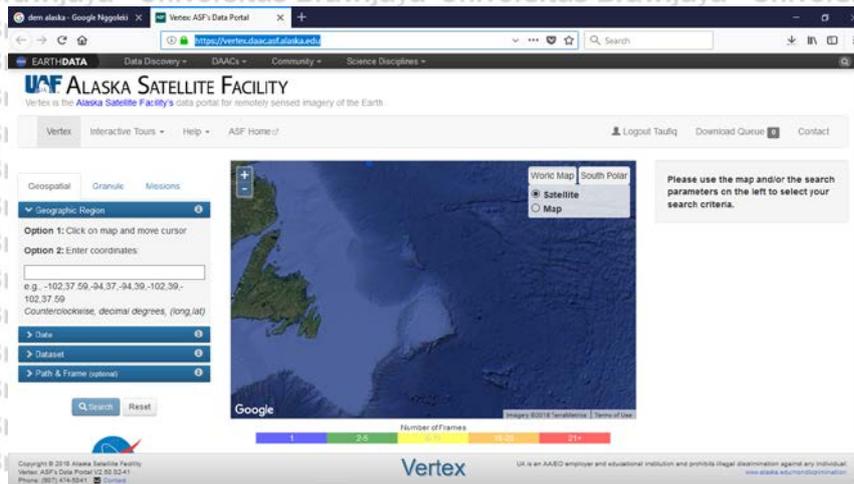
gridcode	Shape_Length	Shape_Area	C_Hujan
1	0.654346	0.016444	2500 - 3000
2	0.847042	0.040478	3000 - 3500

Gambar L1.29. Pengisian *record* berdasarkan *gridcode*

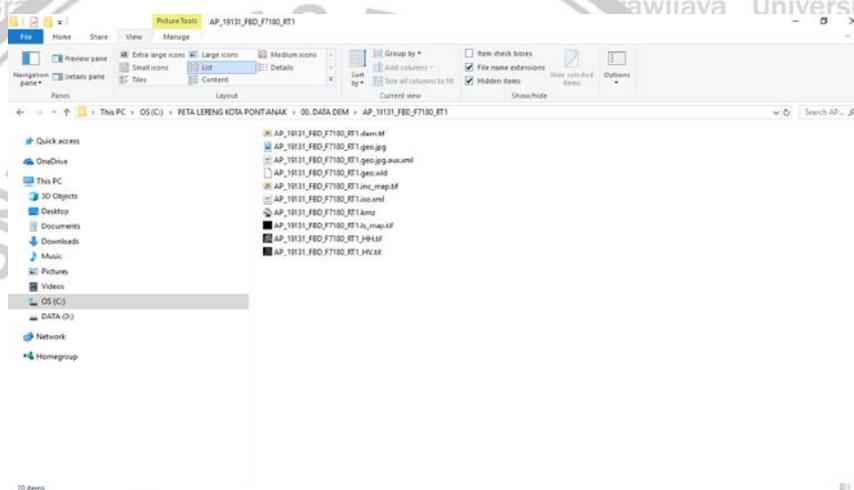


Gambar L1.30. Klasifikasi ulang simbol dan *display*

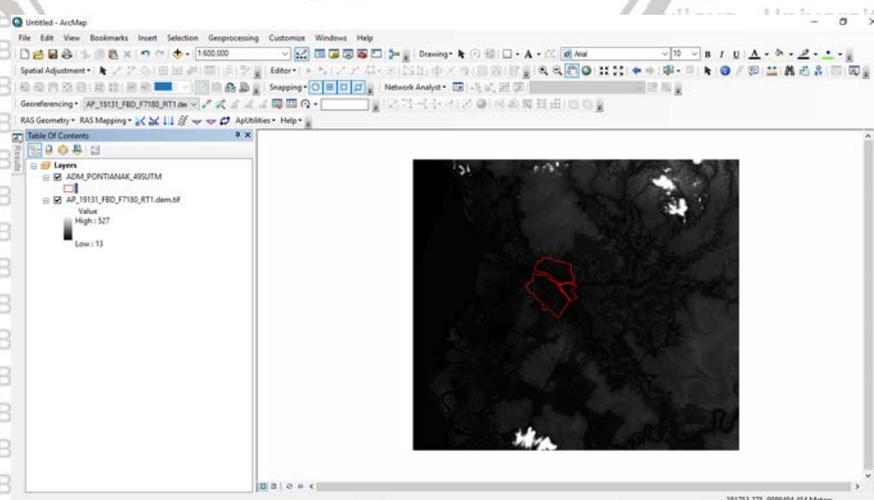
Lampiran 2. Proses pembuatan peta kemiringan lereng



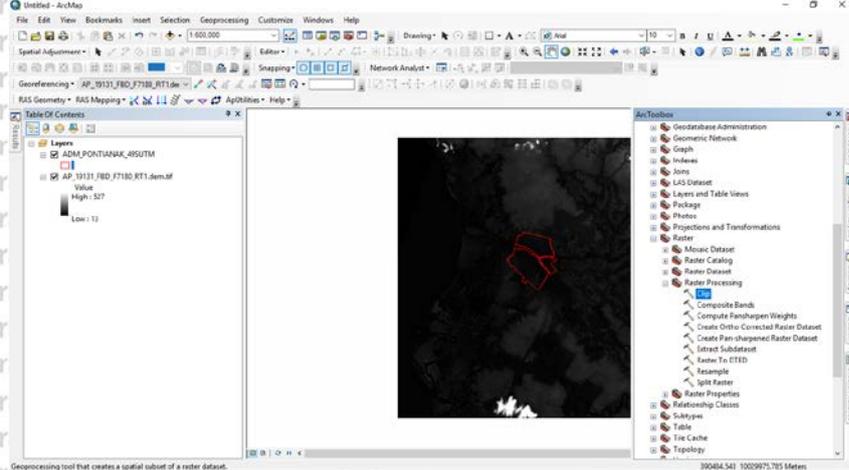
Gambar L2.1. Tampilan halaman download DEM Alaska



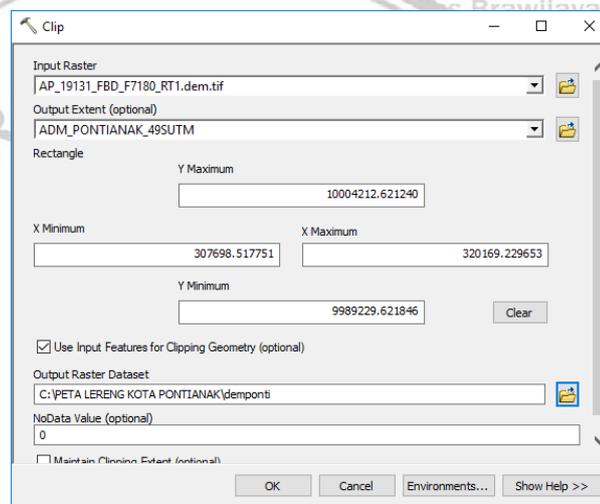
Gambar L2.2. Hasil download satu scene citra Alos PALSAR, DEM berekstensi *.tiff di layer paling atas



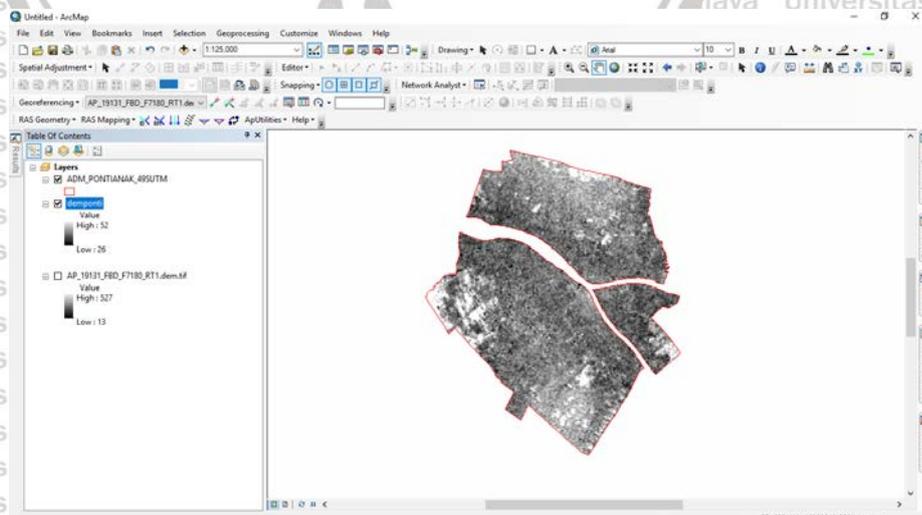
Gambar L2.3. Tampilan DEM dan layer administrasi



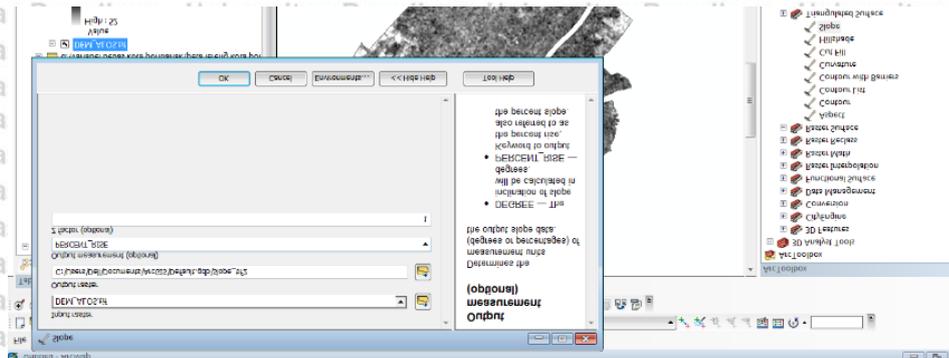
Gambar L2.4. Memotong citra raster DEM menggunakan *layer* administrasi Kota Pontianak dengan *tools clip*



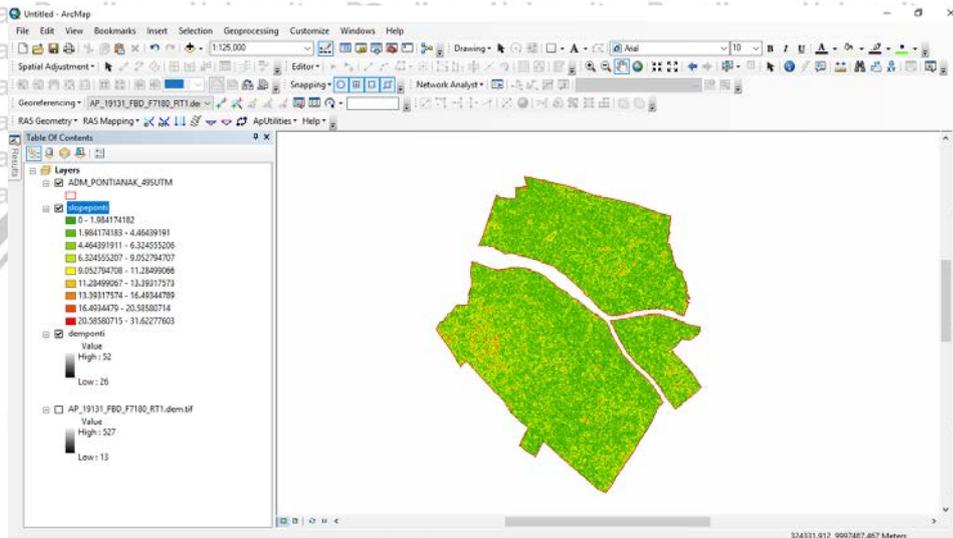
Gambar L2.5. Menginput citra raster DEM menggunakan *layer* administrasi Kota Pontianak dengan *tools clip*



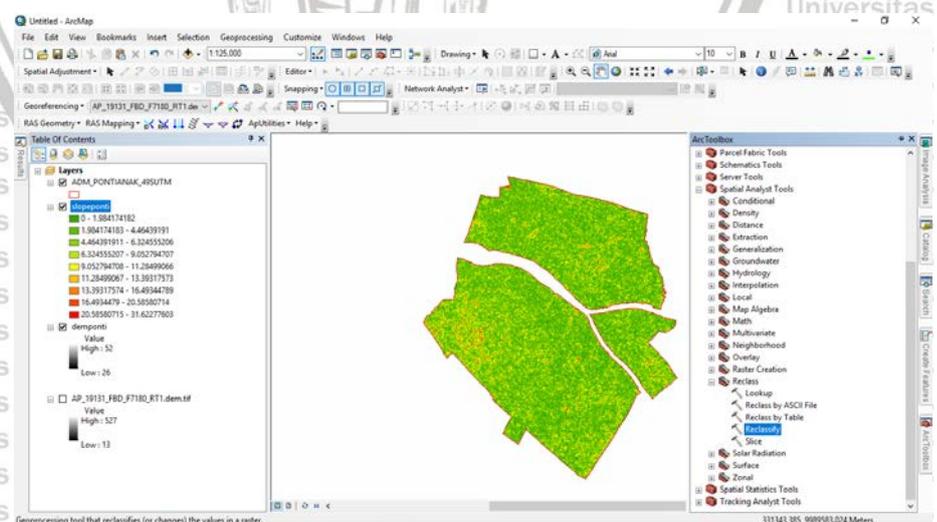
Gambar L2.6. Hasil akhir pemotongan DEM



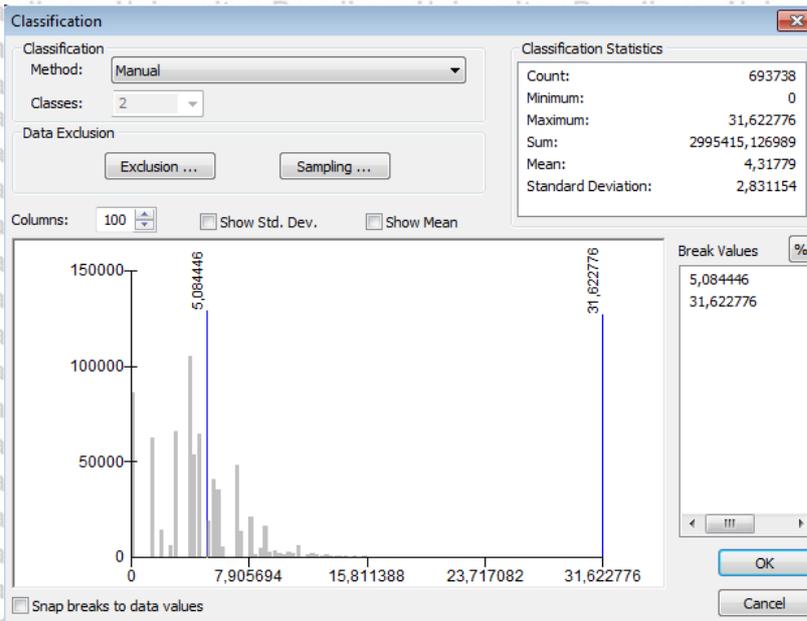
Gambar L2.7. Pembuatan *slope* dengan satuan kelergan persen, dan penyimpanannya



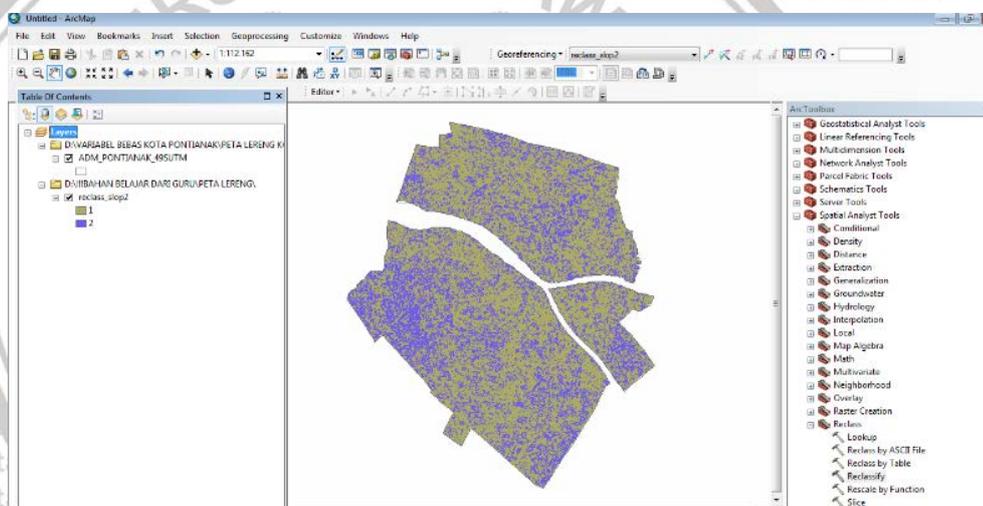
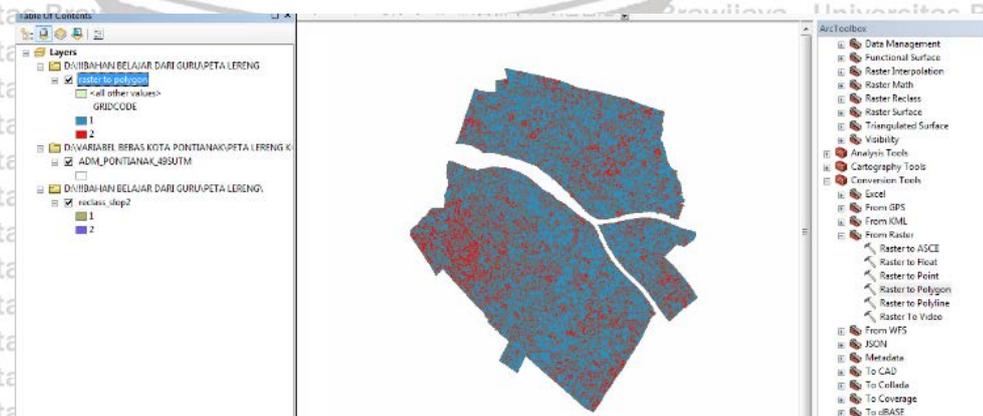
Gambar L2.8. Hasil *slope* (%) masih berupa raster, belum di *reclassify*



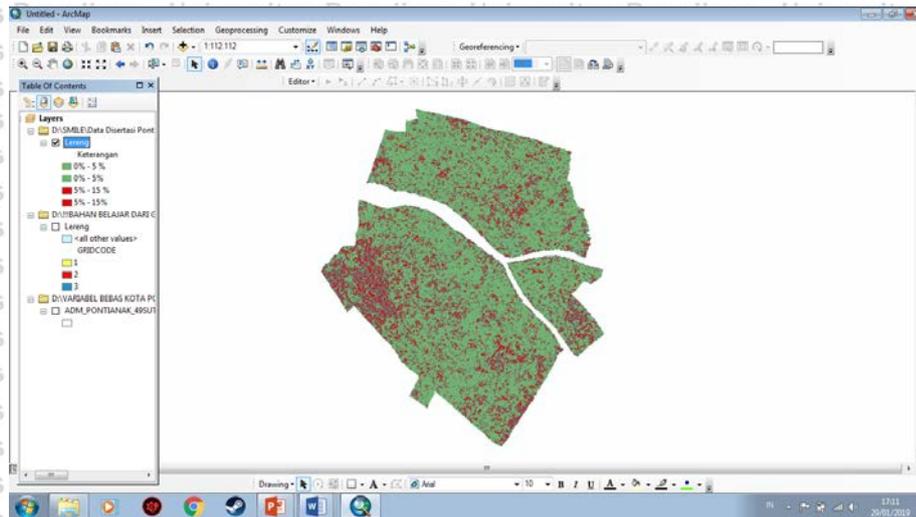
Gambar L2.9. *Tools reclass, reclassify* pada menu *spatial analyst toolbox*



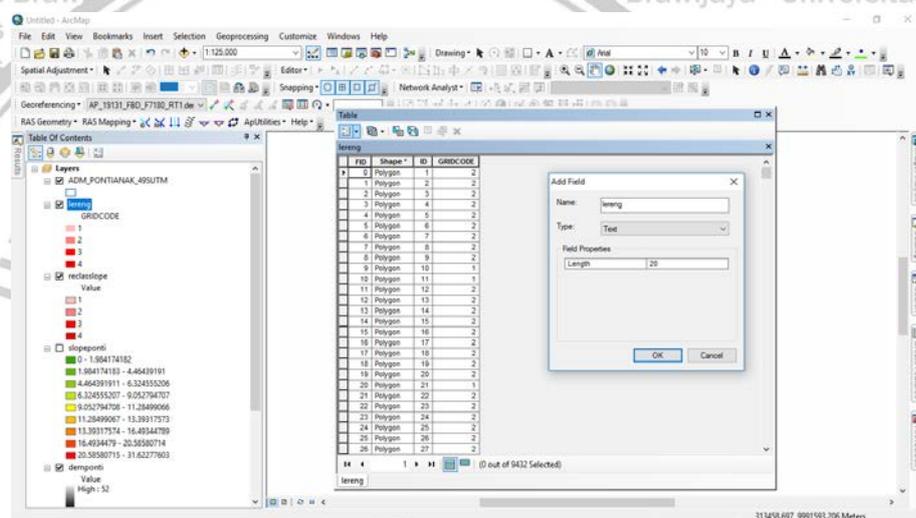
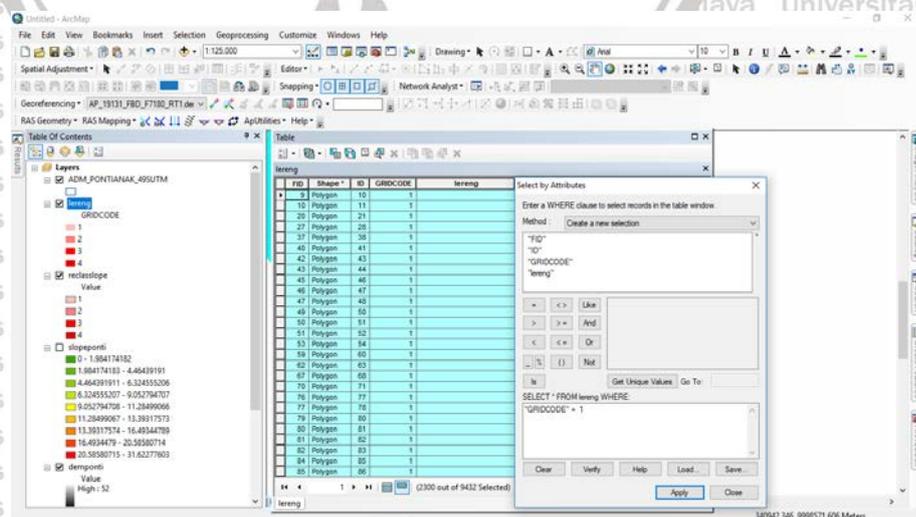
Gambar L2.10. Classification Statistics

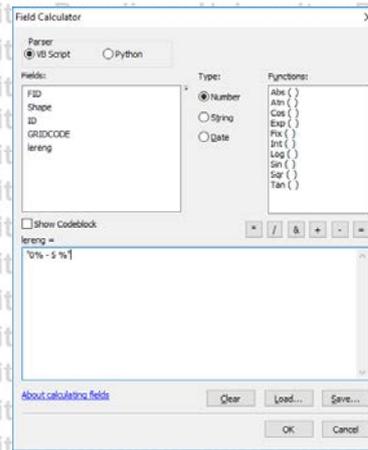
Gambar L2.11. Hasil reclass dengan kode *gridcode* 1 dan 2

Gambar L2.12. Hasil mengubah raster ke poligon



Gambar L2.13. Tampilan lereng yang sudah vektor

Gambar L2.14. Pembuatan *field* baru lereng dengan tipe *text*Gambar L2.15. *Gridcode* 1 terpilih, diedit atributnya dengan *field calculator*

Gambar L2.16. Pengeditan atribut melalui *field calculator*

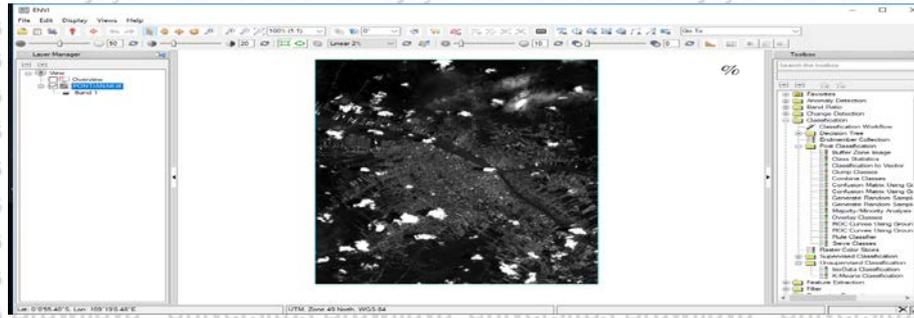
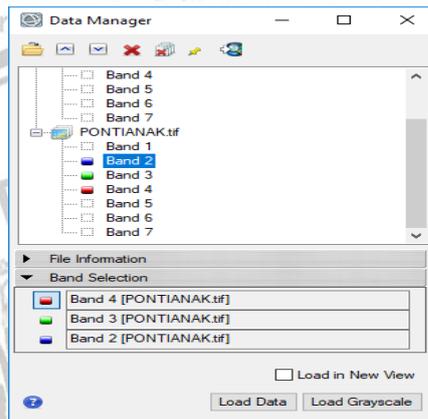
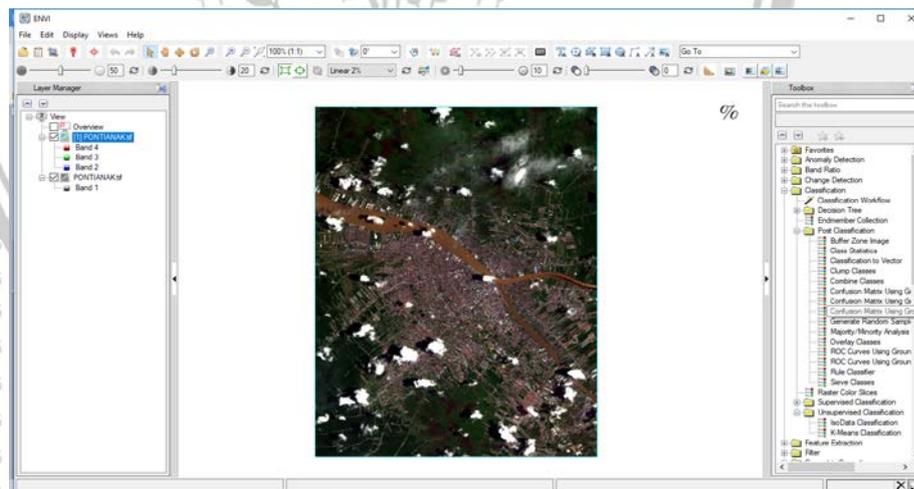
FID	Shape	ID	GRIDCODE	lereng
9	Polygon	10	1	0% - 5%
10	Polygon	11	1	0% - 5%
20	Polygon	21	1	0% - 5%
27	Polygon	28	1	0% - 5%
37	Polygon	38	1	0% - 5%
40	Polygon	41	1	0% - 5%
42	Polygon	43	1	0% - 5%
43	Polygon	44	1	0% - 5%
45	Polygon	46	1	0% - 5%
46	Polygon	47	1	0% - 5%
47	Polygon	48	1	0% - 5%
49	Polygon	50	1	0% - 5%
50	Polygon	51	1	0% - 5%
51	Polygon	52	1	0% - 5%
53	Polygon	54	1	0% - 5%
59	Polygon	60	1	0% - 5%
62	Polygon	63	1	0% - 5%
67	Polygon	68	1	0% - 5%
70	Polygon	71	1	0% - 5%
76	Polygon	77	1	0% - 5%
77	Polygon	78	1	0% - 5%
79	Polygon	80	1	0% - 5%
80	Polygon	81	1	0% - 5%
81	Polygon	82	1	0% - 5%
82	Polygon	83	1	0% - 5%
84	Polygon	85	1	0% - 5%
85	Polygon	86	1	0% - 5%

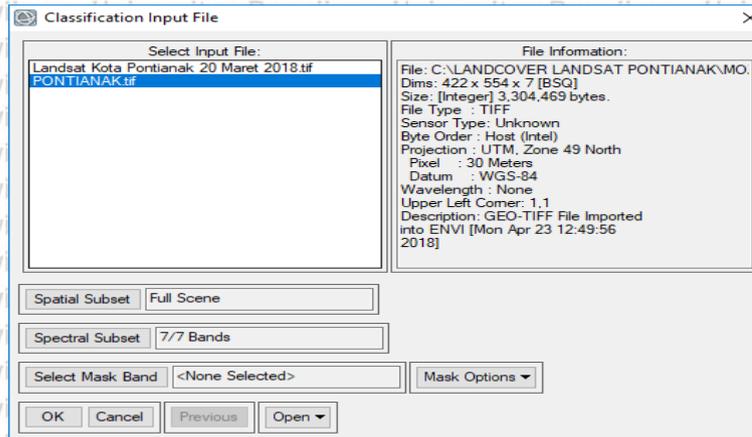
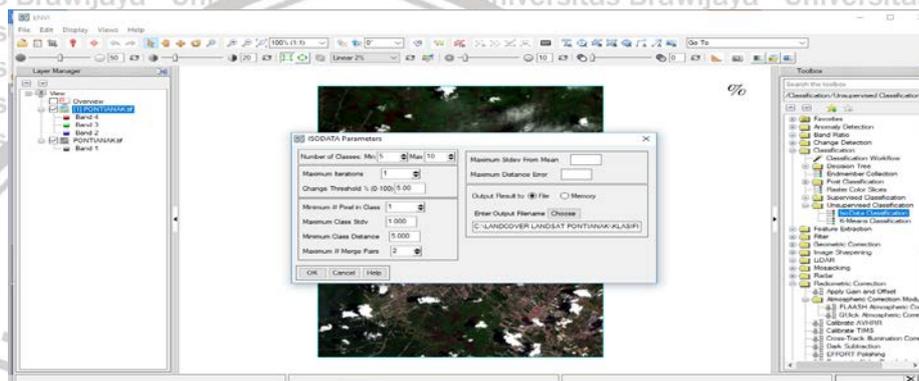
Gambar L2.17. Hasil editan berupa kelas lereng pada tabel atribut

FID	Shape	ID	GRIDCODE	Keterangan	Hipsografi
0	Polygon	1	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
1	Polygon	2	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
2	Polygon	3	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
3	Polygon	4	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
4	Polygon	5	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
5	Polygon	6	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
6	Polygon	7	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
7	Polygon	8	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
8	Polygon	9	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
9	Polygon	10	1	0% - 5%	Datar - Landai
10	Polygon	11	1	0% - 5%	Datar - Landai
11	Polygon	12	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
12	Polygon	13	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
13	Polygon	14	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
14	Polygon	15	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
15	Polygon	16	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
16	Polygon	17	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
17	Polygon	18	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
18	Polygon	19	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
19	Polygon	20	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
20	Polygon	21	1	0% - 5%	Datar - Landai
21	Polygon	22	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
22	Polygon	23	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
23	Polygon	24	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
24	Polygon	25	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
25	Polygon	26	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang
26	Polygon	27	2	5% - 15%	Berombak - Bergelombang

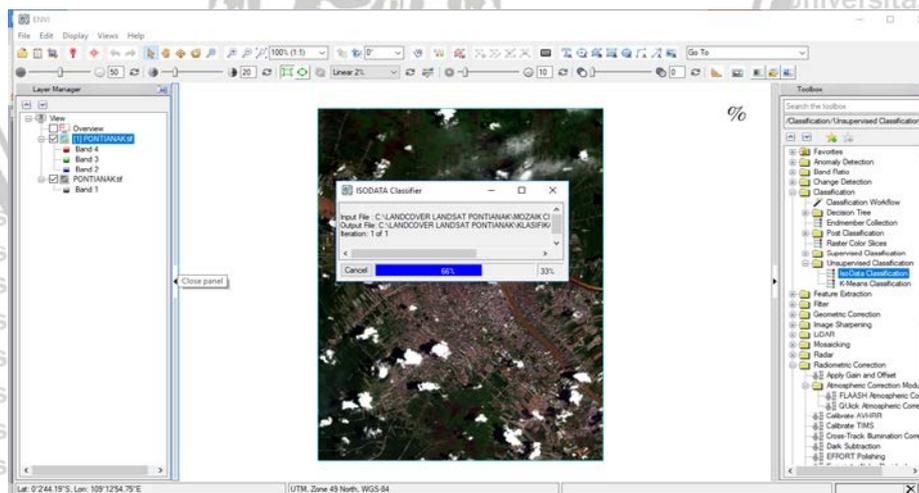
Gambar L2.18. Pengeditan atribut melalui *field calculator* pada semua *field*

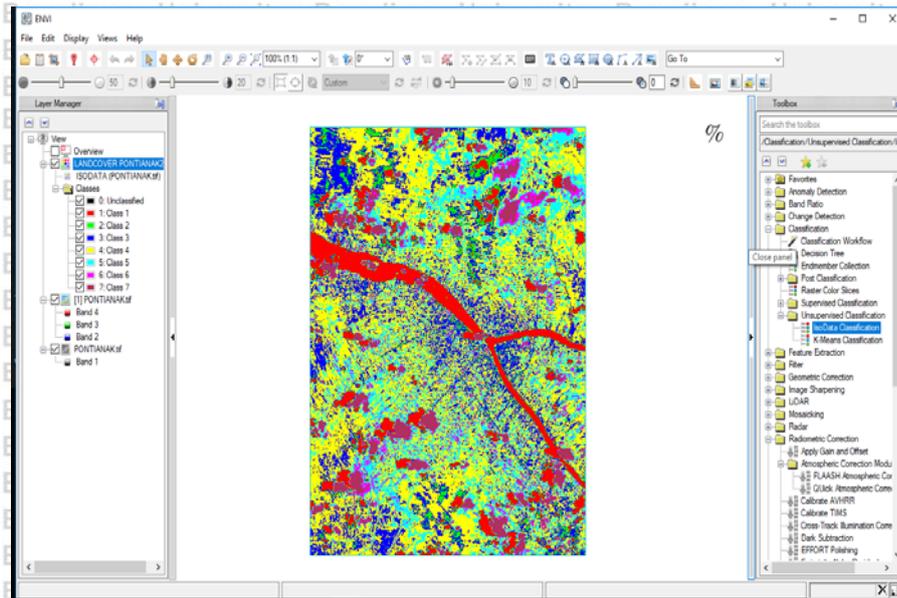
Lampiran 3. Proses pembuatan peta tutupan lahan

Gambar L3.1. Tampilan *landsat* dalam warna h/p masih satu *band*Gambar L3.2. Pemilihan *band* dalam warna RGBGambar L3.3. Tampilan *landsat* dalam RGB dengan *band* 432 (*natural color*)

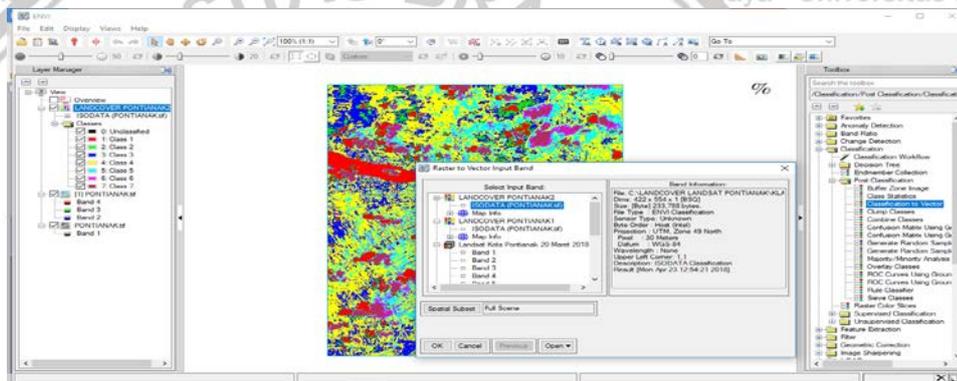
Gambar L3.4. Tampilan *classification input file*

Gambar L3.5. Tampilan ISODATA variabel

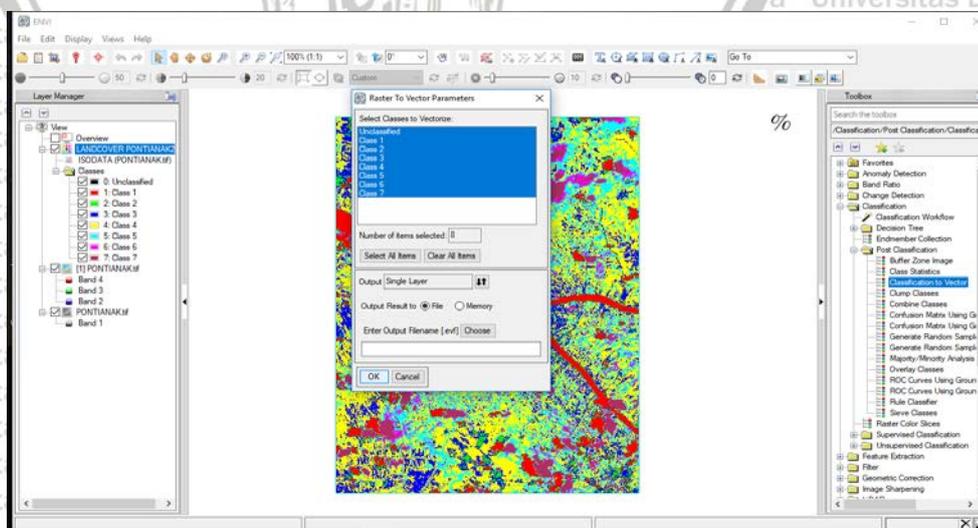
Gambar L3.6. Tampilan ISODATA *classifier*



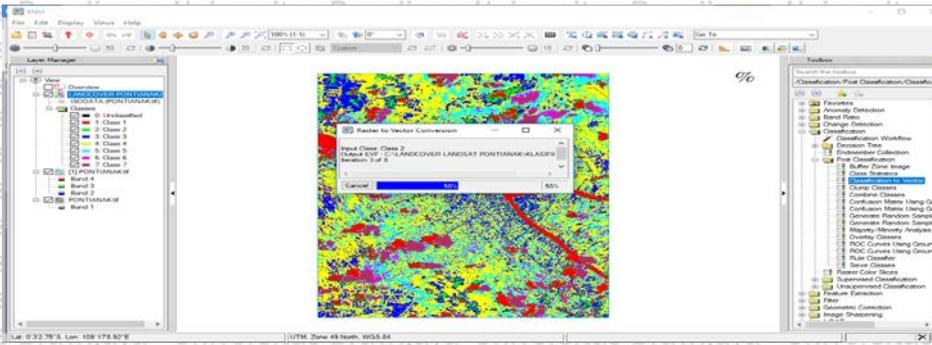
Gambar L3.7. Tampilan hasil klasifikasi berupa raster dalam envi



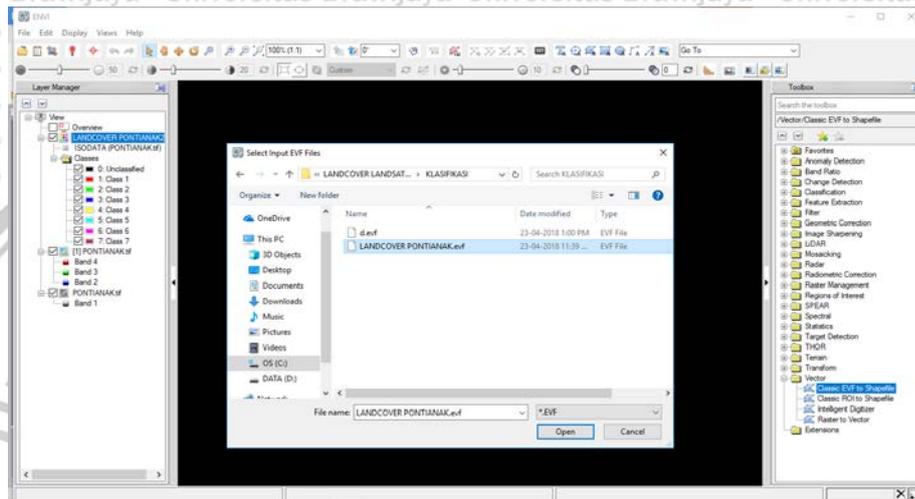
Gambar L3.8. Tampilan hasil klasifikasi ke vektor dalam envi



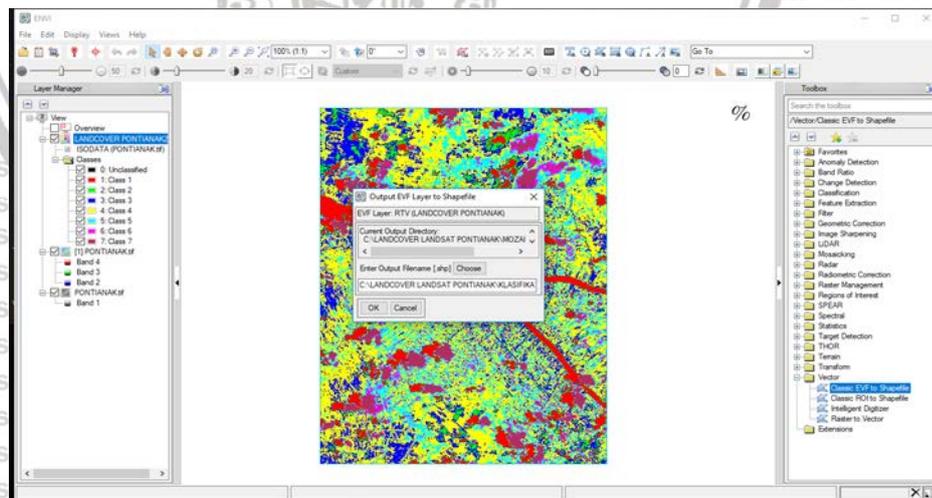
Gambar L3.9. Proses konversi semua layer class raster ke dalam vektor



Gambar L3.10. Proses konversi sedang berlangsung dan akan menjadi hasil vektor klasifikasi evf

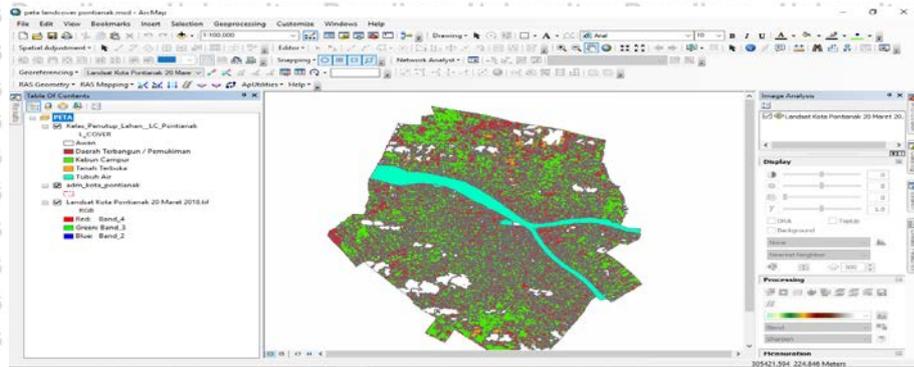


Gambar L3.11. Proses konversi dari evf menjadi shp

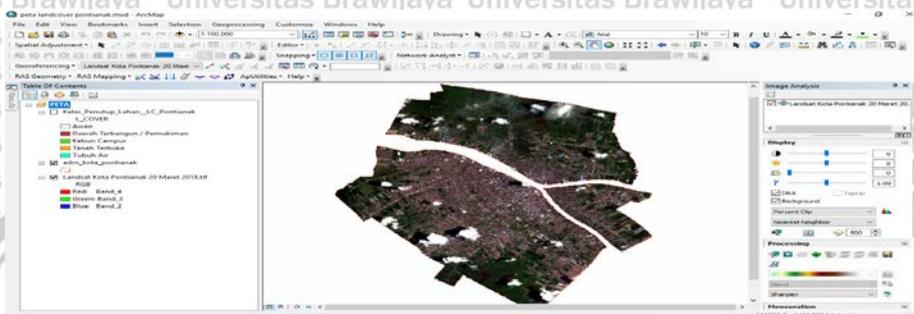


Gambar L3.12. Proses visualisasi hasil klasifikasi shp





Gambar L3.13. Hasilnya divisualisasikan di ArcGIS



Gambar L3.14. Hasilnya diclip dengan administrasi kota Pontianak di ArcGIS

