



UNIVERSITAS INDONESIA

PEMODELAN WILAYAH BANJIR DI KOTA SOLO

SKRIPSI

ANINDITO ADI NUGROHO

0706265195

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN GEOGRAFI

DEPOK

JULI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

PEMODELAN WILAYAH BANJIR DI KOTA SOLO

SKRIPSI

Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

ANINDITO ADI NUGROHO

0706265195

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN GEOGRAFI

DEPOK

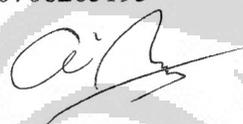
JULI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Anindito Adi Nugroho

NPM : 0706265195

Tanda Tangan : 

Tanggal : 8 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

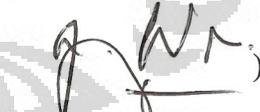
Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Anindito Adi Nugroho
NPM : 0706265195
Program Studi : Geografi
Judul Skripsi : Pemodelan Wilayah Banjir di Kota Solo

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang : Dr.rer.nat. Eko Kusratmoko, M.S ()

Pembimbing I : Drs. Sobirin, M.Si ()

Pembimbing II: Dr.Ir. Tarsoen Waryono, M.S ()

Penguji I : Dr. Djoko Harmantyo, M.S ()

Penguji II : Drs. Tjiong Giok Pin, M.Si ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam yang atas izin-Nya lah saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pemodelan Wilayah Banjir di Kota Solo" tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan guna memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Departemen Geografi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Manusia hanya dapat berusaha dan Allah SWT yang menentukannya, begitulah penulisan skripsi ini dilakukan dengan usaha yang telah diberikan kekuatan oleh-Nya dan Dialah yang dapat menentukan segalanya hingga saat ini. Izinkanlah penulis untuk dapat berucap terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini khususnya kepada:

1. Drs. Sobirin, M.Si selaku Pembimbing I dan Dr.Ir. Tarsoen Waryono, M.S selaku Pembimbing II, atas kesabarannya selama ini dalam membimbing dengan pengorbanan waktu, tenaga dan pikirannya kepada penulis. Terima kasih atas saran, dan masukan yang sangat bermanfaat serta telah memberikan banyak pengalaman yang berharga dalam mengaplikasikan ilmu geografi;
2. Dr. Djoko Harmantyo, M.S selaku Penguji I dan Drs. Tjiong Giok Pin, M.Si selaku Penguji II, atas segala kritk dan saran yang sangat membangun untuk penelitian ini, sehingga wawasan penulis menjadi lebih terbuka dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Dra. Astrid Damayanti, M.Si selaku pembimbing akademik yang senantiasa memberikan perhatiannya terhadap perkembangan akademik penulis sejak awal masa perkuliahan hingga penulis menyelesaikan masa studi;
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Geografi, atas ilmu-ilmu bermanfaat yang telah diberikan dalam perkuliahan kepada penulis selama masa 4 tahun berada di bangku kuliah;

5. Seluruh warga Geografi adik-adik angkatan 2008 dan 2009, kakak-kakak angkatan 2006 dan 2005, serta staff dan karyawan Departemen Geografi yang telah membantu dalam hal administrasi ataupun memberikan informasi-informasi yang penulis butuhkan ketika dalam proses penulisan skripsi;
6. Mas Maulana (Hidrologi PU), Mas Budi (BPN), Pak Sihono (PU Solo), Pak Probo (BPN Solo), Mas Jarot Semedi (Geografi) dan Pak Samadi (BPN Solo), serta seluruh instansi yang telah membantu penulis dalam penyediaan data dan *sharing* tentang penelitian penulis;
7. Para sahabat dari penulis SD hingga kuliah, terimakasih atas do'a dan semangatnya;
8. Guru-guru dari penulis TK hingga kuliah, terimakasih atas do'a, ilmu dan semangat yang telah diberikan kepada penulis;
9. Teman-teman seperjuangan Geografi 2007 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas do'a dan dukungannya kepada penulis;
10. Nurkhamila Risalah, yang senantiasa berkenan berbagi ilmu dengan penulis, *sharing* berbagai hal, memberikan semangat dan membangunkan penulis saat tertidur dari skripsi (males skripsian). berbagi saat suka maupun duka dengan pengorbanan waktu, tenaga, biaya dan pikiran. Terima kasih, semoga semua cita-cita dan harapan kita dapat tercapai. Amin;
11. Keluarga Kerten yang telah membantu penulis dalam melakukan survei untuk penelitian skripsi ini. Terima kasih atas semangat dan dukungannya kepada penulis;
12. Mak Is (Mak-Nyak) yang menjadi penyemangat untuk melangkah kaki ke kampus dan mengurus kebutuhan penulis dari kecil hingga kini;
13. Keluarga tercinta: Ayah dan Ibu yang telah mendidik dan memberikan pendidikan yang terbaik kepada penulis, memberikan pelajaran kehidupan yang sangat berharga, memberikan inspirasi kepada penulis, dan memberikan semangat serta dorongan secara spiritual, mental dan finansial (terutama Ibu). Febrina Mahayani (tiptiphara) si anak kecil yang

besar, adik penulis yang terus menyemangati penulis dan selalu berbagi kesenangan. Terima kasih atas kasih sayang dan pengorbanan yang telah diberikan;

14. Kepada seluruh pihak yang mungkin tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, namun tak mengurangi rasa hormat dan terima kasih penulis kepada kalian semua atas bantuan dan doa yang telah diberikan demi kelancaran penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Akhir kata, penulis hanya bisa memanjatkan doa dalam membalas jasa yang telah diberikan. Semoga Allah SWT memberikan jalan yang terbaik untuk kalian semua dan semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu dan berbagai pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Depok,
2011

Anindito Adi Nugroho

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anindito Adi Nugroho
NPM : 0706265195
Program Studi : Geografi
Departemen : Geografi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

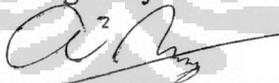
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pemodelan Wilayah Banjir di Kota Solo

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 8 Juli 2011
Yang menyatakan


(Anindito Adi Nugroho)

ABSTRAK

Nama : Anindito Adi Nugroho
Program Studi : Geografi
Judul : Pemodelan Wilayah Banjir di Kota Solo

Banjir merupakan salah satu masalah utama yang melanda kota-kota yang berada di pinggir sungai, termasuk Kota Solo yang berada di hulu Bengawan Solo. Untuk meminimalisasi kerugian akibat banjir, mitigasi bencana banjir melalui pemodelan wilayah banjir menjadi penting. Penelitian ini mengkaji pemodelan spasial di Kota Solo dengan menggunakan variabel curah hujan, tinggi muka air sungai, ketinggian tempat, koefisien limpasan, dan kedalaman banjir. Survei lapangan pada 13 lokasi yang hasilnya dikaitkan dengan informasi hasil pengolahan data, selanjutnya dilakukan analisis statistik untuk melihat kaitan antar variabel dan pemodelan wilayah banjir berbasis grid dilakukan dengan menggunakan software arcgis 9.3. hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa peristiwa banjir di Kota Solo cenderung meningkat dari tahun 2007 sampai 2009, baik dari segi frekuensi kejadian maupun luasan wilayah banjir. Hasil pemodelan banjir di Kota Solo menunjukkan bahwa wilayah yang sering terendam banjir berada di bagian timur dan tenggara Kota Solo dan berada di sepadan sungai. Kota Solo mulai terendam air pada saat tinggi muka air Bengawan solo mencapai angka 6 m, yang terjadi di Kelurahan Sangkrah. Semakin tinggi muka air Bengawan Solo, semakin luas wilayah yang berpotensi tergenang air.

Kata kunci : pemodelan spasial, wilayah banjir, Kota Solo, sistem grid
xv + 82 halaman ; 49 gambar ; 15 tabel
Daftar Pustaka:21 (1942-2011)

ABSTRACT

Name : Anindito Adi Nugroho
Program Study : Geography
Title : Flood Area Modeling In The Solo City

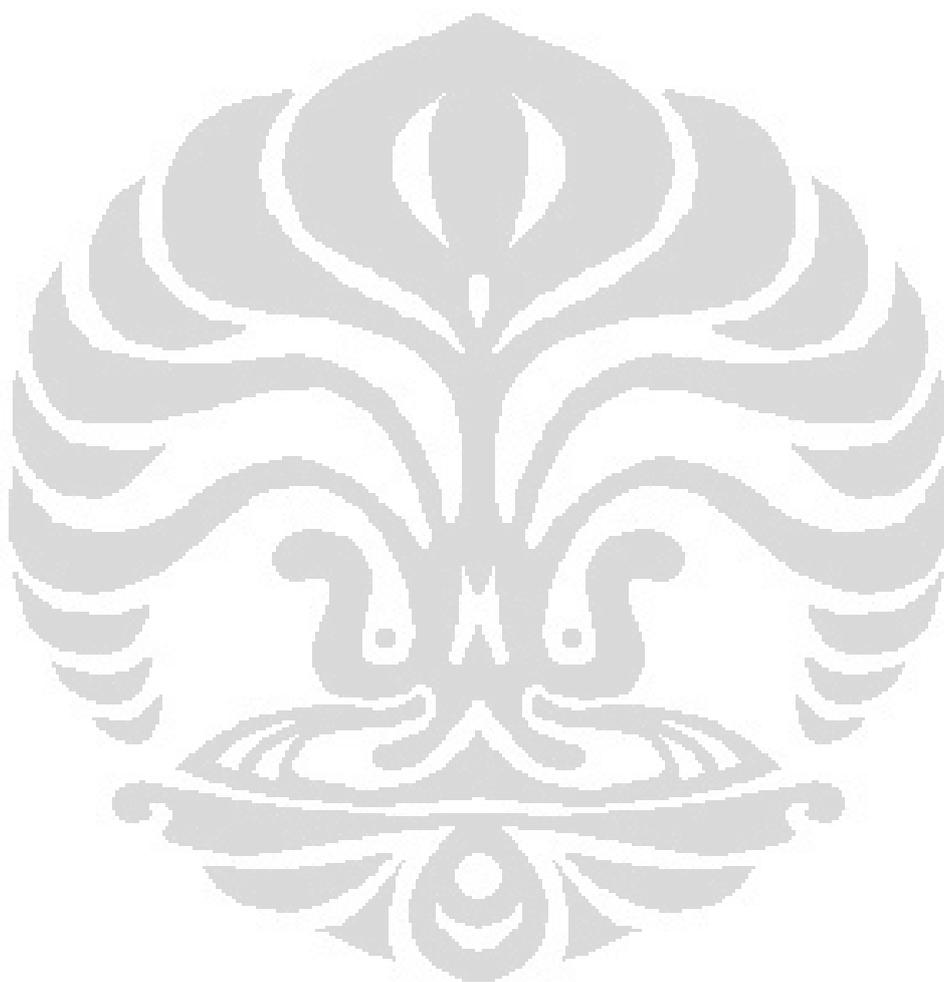
Floods are one of the main problems that plagued the cities on the shores of the River, including the city of Solo in Solo River upstream. To minimize losses due to floods, the disaster mitigation of flooding through the modeling of the region from floods is important. This study examined the spatial modeling in Solo by using variable rainfall, river water, high altitude, runoff coefficient, and depth of flooding. Field surveys at 13 locations that the results related to the information the results of data processing, statistical analysis was then performed to see the relationship between variables and application of grid-based model of flood zones is done using the software ArcGIS 9.3. results obtained showed that the incidence of flooding in the city of Solo is likely to increase from 2007 to 2009, both in terms of frequency of occurrence and level of flooding. The results of modeling of floods in the town of solo shows frequently flooded areas in eastern and southeastern cities, and rivers are commensurate solo. Solo City began under water at high water level reaches 6 m Bengawan solo, which occurred in the village of Sangkrah. If water level of the Solo River showed a high value, the potentially flooded are also larger.

Keywords : spatial modeling, flood area, Solo city, grid system
xv + 82 pages ; 49 pictures ; 15 tables
References : 21 (1942-2011)

DAFTAR ISI

1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Masalah Penelitian	3
1.3 Batasan Penelitian	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Sistem Sungai	5
2.2 DAS Bengawan Solo	10
2.3 Curah Hujan	12
2.4 Banjir	13
2.5 Model regresi linier berganda	15
2.6 Pemodelan spasial	16
2.7 Pemodelan Banjir	21
2.8 Aplikasi Pemodelan Spasial Untuk Banjir	22
3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1. Metode Pendekatan	26
3.2. Pengumpulan Data	28
3.3. Pengolahan Data	30
3.4. Metode Analisis	35
4. GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN	36
4.1. Letak Geografis dan Administrasi	36
4.2. Kondisi Fisik	37
4.3. Topografi	39
4.4. Kependudukan	40
4.5. Hidrologi dan Klimatologi	41
4.5.1 Sistem Perairan Kota Solo	41
4.5.2 Curah Hujan	42
4.6. Penggunaan Tanah	44
4.7. Masalah Banjir di Kota Solo	45
5. HASIL DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Kejadian Banjir di Kota Solo	47
5.1.1 Banjir Tahun 1988	47
5.1.2 Banjir Tahun 2007	48
5.1.3 Banjir Tahun 2008	50
5.1.4 Banjir Tahun 2009	53
5.1.5 Perbandingan Kejadian Banjir di Kota Solo Antara Tahun 1988, 2007, 2008, dan 2009	57

5.1.6 Prediksi Banjir 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 Tahunan	58
5.2 Pemodelan Wilayah Banjir di Kota Solo	59
5.3 Kondisi Banjir pada Tiap Ketinggian Muka Air Bengawan Solo	62
5.4 Aplikasi Model Banjir Untuk Mitigasi Bencana	75
6. KESIMPULAN	79
DAFTAR PUSTAKA	80



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem Sungai (sungai utama dan anak-anak sungai).....	5
Gambar 2.2. Profil DAS (3D).....	7
Gambar 2.3. Turbulensi Arus Sungai	8
Gambar 2.4. Bentuk Sungai Pada Dataran Banjir (<i>flood plain</i>)	8
Gambar 2.5. Dataran Banjir (<i>flood plain</i>)	9
Gambar 2.6. Pembagian Wilayah DAS Bengawan Solo	10
Gambar 2.7. Teori Model Konsentris	18
Gambar 2.8. Model Sektoral	19
Gambar 2.9. Bentuk Tampilan Grid Dari Data Bitmap Grayscale	20
Gambar 2.10. Model Hidrologi dengan System Grid	21
Gambar 2.11. Berbagai Model untuk Menggambarkan Topografi a. TIN-Berbasis <i>Terrain Model</i> , b. ANUDEM c. <i>Krigging</i> (100 m), d. <i>Krigging</i> (5 m), e. Tampilan 3D	24
Gambar 2.12. Model Wilayah Banjir di Naga City, (Kiri) Gambaran Banjir 17,5 Tahun dan (Kanan) Gambaran Banjir 10	25
Gambar 3.1. Alur Pikir Penelitian	27
Gambar 3.2. Lokasi Stasiun Pengukuran Tinggi Muka Air	29
Gambar 3.3. 13 Titik Lokasi Survei	30
Gambar 3.4. Konversi Vector (Gambar A) ke Grid (Gambar B)	32
Gambar 4.1. Wilayah Administrasi Kota Solo	37
Gambar 4.2. Geologi Kota Solo	38
Gambar 4.3. Wilayah Ketinggian Kota Solo	39
Gambar 4.4. Grafik Pertumbuhan Penduduk Kota Solo Tahun 1998 – 2002	40
Gambar 4.5. Penggunaan Tanah Kota Solo Tahun 2009	44
Gambar 5.1. Grafik Fluktuasi Ketinggian Banjir Februari 1988 di Kota Solo	47
Gambar 5.2. Grafik Tinggi Muka Air Sungai Maksimum Bulanan Tahun 2000 - 2009 Stasiun Jurug Kota Solo	48
Gambar 5.3. Fluktuasi Kedalaman Banjir Desember 2007	50
Gambar 5.4. Wilayah Banjir Kota Solo Tahun 2008	51
Gambar 5.5. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 4 Dan 5 Februari 2008	52
Gambar 5.6. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 8 Dan 9 Maret 2008	52
Gambar 5.7. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 21 Sampai 23 Maret 2008	53
Gambar 5.8. Wilayah Banjir Kota Solo Tahun 2009	54
Gambar 5.9. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Januari 2009	55
Gambar 5.10. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada 18 Februari 2008	56
Gambar 5.11. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 25 Dan 26 Maret 2009	56

Gambar 5.12. Grafik Curah Hujan Tahun 1999 Sampai 2010 di Stasiun Pabelan	57
Gambar 5.13. Grafik Perbandingan Curah Hujan dengan Kedalaman Banjir	61
Gambar 5.14. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 6 m	63
Gambar 5.15. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 6,5 m	64
Gambar 5.16. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 7 m	65
Gambar 5.17. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 7,5 m	66
Gambar 5.18. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 8 m	67
Gambar 5.19. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 8,5 m	68
Gambar 5.20. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 9 m	69
Gambar 5.21. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 9,5 m	70
Gambar 5.22. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10 m	72
Gambar 5.23. Persentase Luasan Wilayah Tergenang Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10 m	72
Gambar 5.24. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10,5 m	73
Gambar 5.25. Persentase Luasan Wilayah Tergenang Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10,5 m	74
Gambar 5.26. Prediksi Kondisi Banjir 50 Tahunan di Kota Solo	74
Gambar 5.27. Prediksi Kondisi Banjir 100 Tahunan di Kota Solo	75
Gambar 5.28. Lokasi Pos Duga Air Stasiun Jurug dan Stasiun Jarum	77

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Koefisien Limpasan Berdasarkan Penggunaan Tanah.....	32
Tabel 4.1. Luasan Wilayah Ketinggian Kota Solo	39
Tabel 4.2. Data Iklim Kota Solo	44
Tabel 4.3. Luasan dan Persentase Penggunaan Tanah Kota Solo	45
Tabel 5.1. Tinggi Genangan, Curah Hujan, dan Tinggi Muka Air Sungai Pada Kejadian Banjir Tahun 2007	49
Tabel 5.2. Tabel Tinggi Genangan, Curah Hujan, dan Tinggi Muka Air Sungai Pada Kejadian Banjir Tahun 2008.....	51
Tabel 5.3. Tabel Tinggi Genangan, Curah Hujan, dan Tinggi Muka Air Sungai Pada Kejadian Banjir Tahun 2009	54
Tabel 5.4. Perbandingan Kejadian Banjir Tahun 1988, 2007,2008, dan 2009 ..	57
Tabel 5.5. Tinggi Muka Air Prediksi Tiap Periode Ulang.....	58
Tabel 5.6. Korelasi Antar Variabel.....	59
Tabel 5.7. Output SPSS Regresi Linier Berganda.....	61
Tabel 5.8. Luas Wilayah Menurut Kelas Kedalaman Banjir pada Tiap Kondisi Tinggi Muka Air Bengawan Solo	62
Tabel 5.9. Rumus Kirpich dan Rumus Horton	76
Tabel 5.10.Korelasi Antara Tinggi Muka Air Stasiun Jurug dan Stasiun Jarum.....	77
Tabel 5.11.Uji Regresi Linier	78

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir adalah fenomena alam sebagai akibat panas matahari dan perputaran bumi yang menggerakkan siklus hidrologi. Pada umumnya kerugian banjir disebabkan karena perbuatan manusia. Banjir sangat dipengaruhi oleh faktor alam berupa curah hujan yang di atas normal. Selain itu faktor manusia juga berperan penting seperti penggunaan lahan yang tidak tepat (pemukiman di daerah bantaran sungai, di daerah resapan, penggundulan hutan, dan sebagainya), pembuangan sampah ke dalam sungai, pembangunan pemukiman di daerah dataran banjir dan sebagainya (White, 1942). Banjir merupakan salah satu masalah utama bagi beberapa kota di Indonesia dan dapat dikatakan sebagai sebuah bencana karena tidak jarang menyebabkan timbul korban. Di seluruh Indonesia, tercatat 5.590 sungai induk dan 600 di antaranya berpotensi menimbulkan banjir (BAPPENAS, 2008).

Banjir yang melanda daerah-daerah rawan di Indonesia, pada dasarnya disebabkan tiga hal. Pertama, kegiatan manusia yang menyebabkan terjadinya perubahan tata ruang dan berdampak pada perubahan alam. Kedua, peristiwa alam seperti curah hujan sangat tinggi, kenaikan permukaan air laut, badai, dan sebagainya. Ketiga, degradasi lingkungan seperti hilangnya tumbuhan penutup tanah pada *catchment area*, pendangkalan sungai akibat sedimentasi, penyempitan alur sungai dan sebagainya (BAPPENAS, 2008).

Semakin tidak terkendalinya pembangunan, kurang baiknya pengaturan air pada setiap DAS, dan tingginya curah hujan di Indonesia menyebabkan peristiwa banjir sering terjadi di Indonesia khususnya di perkotaan. Wilayah perkotaan lebih cepat mengalami perubahan penggunaan tanah dibandingkan dengan pedesaan. Perubahan penggunaan tanah yang terjadi cenderung merubah wilayah vegetasi menjadi wilayah terbangun. Hal ini menyebabkan air hujan yang jatuh lebih

banyak mengalami proses pelimpasan (*run off*) dibanding dengan proses infiltrasi. Semakin banyak air hujan yang mengalami pelimpasan menyebabkan kapasitas sungai tidak mencukupi untuk menampung air hujan tersebut, sehingga akan terjadi banjir.

Kota Solo yang dikenal juga dengan Kota Surakarta terdapat di Sub-DAS Bengawan Solo hulu dan dilewati Bengawan Solo yang memiliki morfologi sungai berkelok-kelok (*meander*). Sepadan Bengawan Solo yang berkelok tersebut merupakan dataran banjir (*floodplain*), yaitu berupa lahan / dataran yang berada di kanan kiri sungai yang sewaktu-waktu dapat tergenang banjir (Siswoko, 2007). Kota Solo terletak pada ketinggian 84 sampai 134 m dpl, dimana pusat Kotanya berada pada ketinggian 95 m dpl. Curah hujan di Kota Solo tiap tahunnya tidak kurang dari 2000 mm, sedangkan intensitas penggunaan tanah di Kota Solo sangat tinggi, hampir tidak ada tanah yang tidak tergarap oleh manusia. Penggunaan tanah di Kota Solo pada tahun 2009 lebih dari 75% merupakan penggunaan tanah berupa permukiman dan bangunan (daerah terbangun) (Badan Pertanahan Nasional, 2009).

Dalam sepuluh tahun terakhir frekuensi dan intensitas terjadinya peristiwa banjir di Kota Solo semakin meningkat. Sebagai contoh pada tahun 2008 terjadi beberapa kali peristiwa banjir, yaitu pada tanggal 4-5 Februari, 8-9 Maret, dan 21-23 Maret. Kejadian banjir pada tahun tersebut dipengaruhi oleh tinggi muka air Sungai Bengawan Solo yang mengalami peningkatan, bahkan pada tanggal 5 Februari tercatat tinggi muka air Sungai Bengawan Solo sebesar 7,77 meter. Pada tahun 2009 terjadi peningkatan frekuensi kejadian banjir di beberapa bagian Kota Solo, banjir tidak hanya terjadi di bantaran sungai utama, namun juga terjadi di bantaran sungai kecil yang melewati Kota Solo seperti Kali Anyar, Kali Pepe, Kali Palemwulung, dan Kali Jenes. Pada tanggal 9 Januari 2009, Kelurahan Joyosuran, Kecamatan Pasar Kliwon mengalami kejadian banjir yang disebabkan oleh jebolnya talut (tanggul) di Kali Pepe sepanjang \pm 20 m dengan tinggi 5 m (Dinas Pekerjaan Umum Kota Solo, 2011).

Banjir dapat terjadi tanpa terduga dan dapat menyebabkan kerugian baik materiil maupun non materiil seperti korban jiwa. Upaya mitigasi perlu dilakukan

untuk mengurangi resiko kerugian yang terjadi akibat banjir. Untuk itu diperlukan alat untuk memprediksi banjir dalam upaya mengurangi resiko kerugian yang timbul. Salah satu cara untuk memprediksi kejadian banjir adalah membuat pemodelan banjir di Kota Solo.

Tingginya curah hujan, kondisi topografi yang dilalui oleh beberapa sungai seperti Bengawan Solo, dan semakin cepatnya perubahan penggunaan tanah membuat Kota Solo semakin rawan dengan resiko terjadinya bencana banjir. Pengelolaan kondisi hidrologi di Kota Solo perlu diperhatikan, untuk itu perlu diadakan pengukuran dan penelitian mengenai masalah banjir di Kota Solo. Banjir di seluruh permukaan tanah dan di luar aliran dapat disimulasikan, sesuai dengan kondisi DAS (topografi, penggunaan lahan, dan lain sebagainya).

Membuat pemodelan banjir di Kota Solo yang berguna untuk mengantisipasi terjadinya banjir di Kota Solo merupakan tujuan dari penelitian ini.

1.2 Masalah penelitian

1. Bagaimana kejadian banjir di Kota Solo tahun 1988, 2007, 2008, dan 2009?
2. Bagaimana model wilayah banjir di Kota Solo?

1.3 Batasan penelitian

1. Banjir adalah genangan air pada daerah hunian manusia baik permukiman ataupun tempat usaha manusia tanpa ada unsur kesengajaan (tidak dibudidayakan) dan merupakan bencana (PU, SK SNI M-18-1989-F). Banjir biasanya disebabkan oleh curah hujan, yaitu genangan air yang diakibatkan dari tingginya curah hujan dan luapan air sungai pada bagian sepadan sungai yang terjadi pada saat sungai tidak mampu lagi menampung volume air yang meningkat karena curah hujan yang tinggi pada DAS serta menggenangi daerah yang lebih rendah dari muka air sungai. Yang disebut dengan banjir dalam penelitian ini adalah suatu

wilayah yang biasanya tidak tergenang oleh air, tetapi pada suatu waktu tergenang oleh air. Banjir yang diteliti adalah banjir yang memiliki ketinggian genangan di atas 15 cm dan dalam waktu lebih dari dua (2) jam.

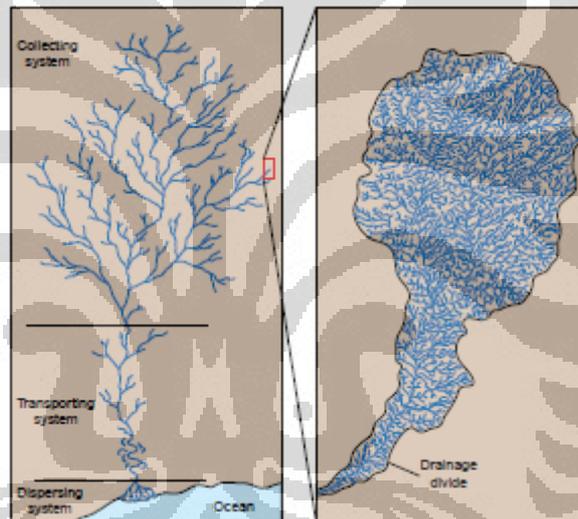
2. Genangan adalah air yang terkumpul dalam suatu wilayah yang cekung atau rendah dan terjebak di dalamnya.
3. Sistem drainase merupakan jalan bagi air untuk mencapai lokasi yang lebih rendah, meliputi saluran utama (baik alami maupun buatan) berupa sungai dan saluran yang lebih kecil yaitu sekunder dan tersier.
4. Penggunaan tanah merupakan gambaran tingkat orientasi kehidupan masyarakat di suatu wilayah (Sandy, 1996). Dalam penelitian ini, penggunaan tanah dibatasi pada penggunaan tanah permukiman, industri, Tanah tak terbangun.
5. Pemodelan adalah penyederhanaan dari fakta lapangan. Pemodelan dalam penelitian ini adalah penyederhanaan dari kondisi banjir di Kota Solo, baik wilayah banjir maupun kedalaman banjir. Pemodelan dalam penelitian ini adalah penyederhanaan dari kejadian banjir di Kota Solo dengan menggunakan analisis grid.
6. Wilayah yang dikaji dalam penelitian ini adalah wilayah Kota Solo yaitu $110^{\circ} 45' 15'' - 110^{\circ} 45' 35''$ Bujur Timur dan $7^{\circ} 36' 00'' - 7^{\circ} 56' 00''$ Lintang Selatan
7. Dalam penelitian ini grid yang digunakan memiliki luas 90×90 m karena menyesuaikan dengan data SRTM yang memiliki resolusi spasial 30m (1grid mencakup 9 pixel data SRTM) dan citra *Quick Bird* yang memiliki resolusi spasial 0.6m (1grid mencakup 22500 pixel).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Sistem Sungai

Sebuah sistem sungai terdiri dari sungai utama dan anak-anak sungai yang semuanya mengalir ke dalam sungai utama. Hal ini dapat dibagi menjadi tiga subsistem, yaitu (1) sistem pengumpulan, (2) sistem transportasi, (3) dan sistem menyebar/dispersi. Beberapa sungai hanya mengalir ketika musim hujan dan saat hujan berhenti sungai menjadi kering. Sedangkan sungai-sungai di kutub utara beku dalam waktu 2/3 tahun (Hamblin dan Christiansen. 2004).



Gambar 2.1. Sistem Sungai (sungai utama dan anak-anak sungai)

1. Sistem Pengumpulan

Sungai tidak hanya sebagai saluran alam untuk mengalirkan air tetapi sebagai suatu sistem sungai atau daerah aliran sungai. Sebuah gambaran dari sistem sungai yang digambarkan dalam Gambar menunjukkan bahwa sistem pengumpulan, sistem transportasi, dan sistem menyebar/dispersi dapat diidentifikasi.

2. Sistem Transportasi

Sistem transportasi adalah aliran utama yang berfungsi untuk mengalirkan air dan sedimen dari hulu DAS ke hilir. Endapan sedimen umumnya terjadi di daerah meander atau sungai yang berkelok-kelok, ketika sungai meluap dan berkumpul maka terjadilah banjir. Erosi, deposisi, dan transportasi terjadi di sebuah sistem DAS tersebut, namun proses utama yang terjadi di sistem DAS tersebut adalah pergerakan air dan sedimen.

3. Sistem Penyebaran

Dalam sistem DAS terjadi proses penyebaran, yaitu sedimen dan air akan tersebar di daerah yang rendah seperti laut, danau atau cekungan kering. Proses utamanya adalah pengendapan sedimen kasar dan penyebaran bahan halus dan air sungai di dalam sebuah area tangkapan (basin).

Keterlibatan dari semua sistem sungai merupakan suatu kesatuan. Dalam sebuah studi mengenai sistem drainase menunjukkan bahwa adanya keterkaitan antara ukuran, gradien, dan profil sungai. Beberapa hubungan yang lebih penting dalam sistem sungai adalah:

1. Jumlah segmen sungai cenderung menurun di daerah hilir
2. Panjang sungai semakin panjang di daerah hilir
3. Gradien sungai semakin berkurang di daerah hilir
4. Saluran sungai semakin meluas di daerah hilir
5. Ukuran lembah sungai sebanding dengan ukuran dari saluran dan meningkat di daerah hilir

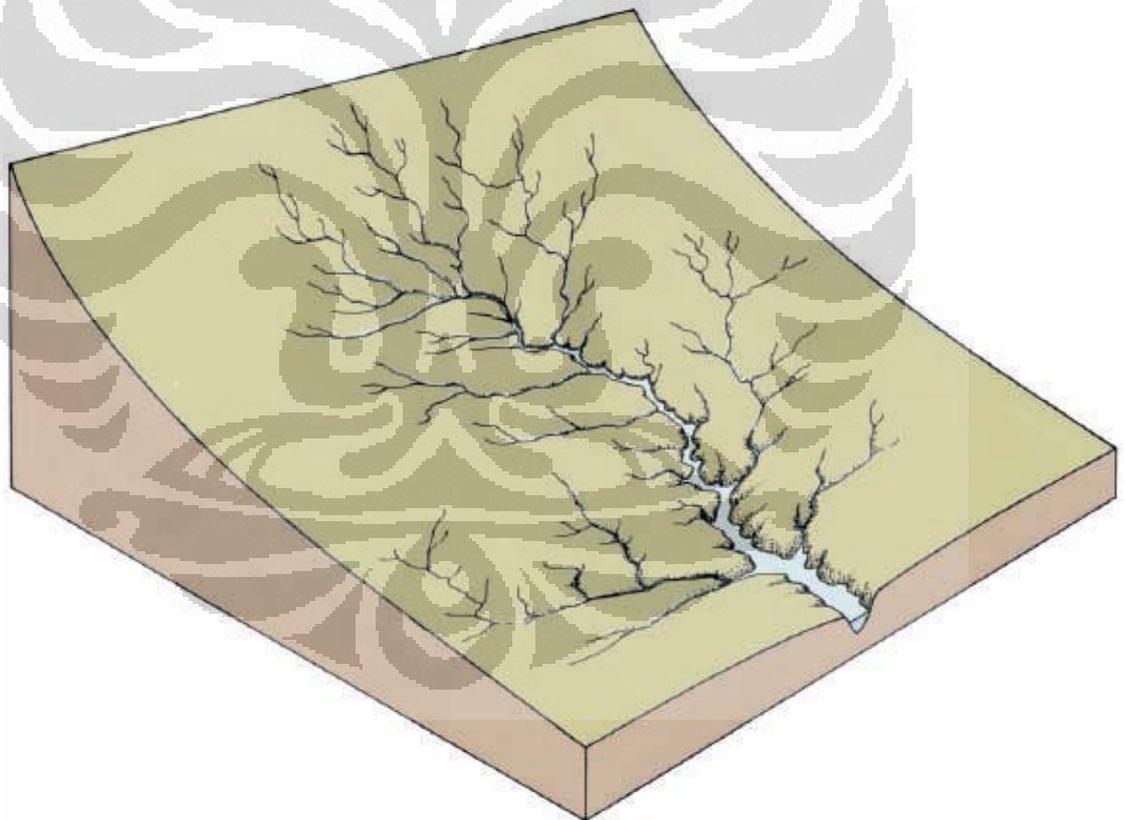
Beberapa faktor yang mempengaruhi arus sungai:

1. Debit, yaitu besarnya jumlah air yang melewati suatu titik tertentu selama selang waktu tertentu (m^3/s).
2. Gradien/ kemiringan sungai. Gradien suatu sungai biasanya curam di bagian hulu dan semakin melandai ke arah hilir. Apabila dibuat

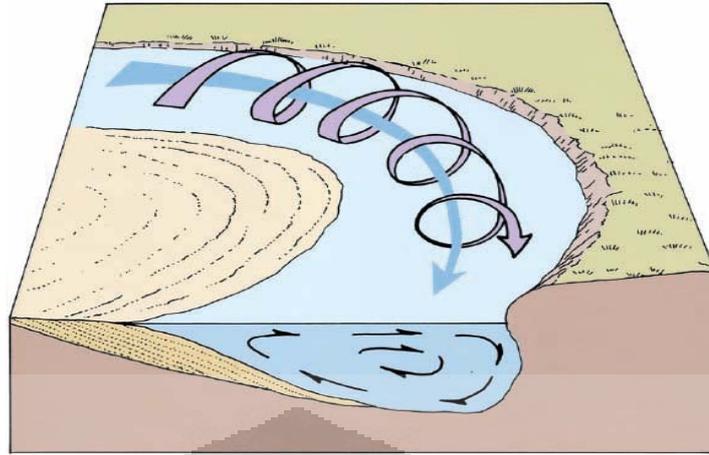
penampang melintang dari hulu ke hilir, maka akan terbentuk sebuah kurva cekung di bagian hulu dan menjadi semakin datar di bagian hilir .

3. Kecepatan aliran sungai. Kecepatan air yang mengalir berbanding lurus dengan gradien sungai, semakin curam gradien maka semakin cepat aliran yang dihasilkan sehingga di daerah pegunungan biasanya memiliki aliran yang cepat. Kecepatan tersebut dapat menurun ketika melewati sebuah danau atau ke laut.

Pada bagian sistem sungai yang lebih rendah memiliki gradien sungai yang sangat landai, hal itu menyebabkan berkurangnya kecepatan aliran sungai dan terkumpulnya sedimen. Akibatnya akan tercipta bentukan-bentukan seperti dataran banjir (*floodplain*), kipas alluvial, lembah alluvial, dan delta.

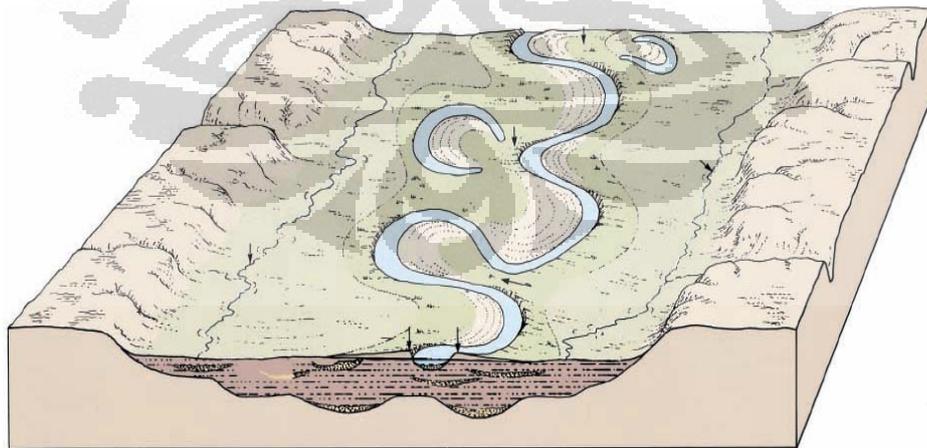


Gambar 2.2. Profil DAS (3D)



Gambar 2.3. Turbulensi Arus Sungai

Pada daerah rendah cenderung memiliki permukaan datar disebabkan karena sedimen yang mengendap cenderung besar. Terkadang daerah tersebut tertutup oleh air sehingga disebut sebagai dataran banjir. Sungai yang mengalir di dataran banjir memiliki ciri-ciri saluran yang berliku-liku atau meander. Bentuk tersebut dapat berubah menjadi semakin berliku karena turbulensi di setiap tikungan menghasilkan aliran yang lebih deras sehingga menyebabkan pengikisan di bagian luar/pinggir sungai. Apabila kelokan tersebut telah terputus, maka terbentuklah danau seperti bulan sabit yang disebut *oxbow lake* (Hamblin dan Christiansen, 2004).

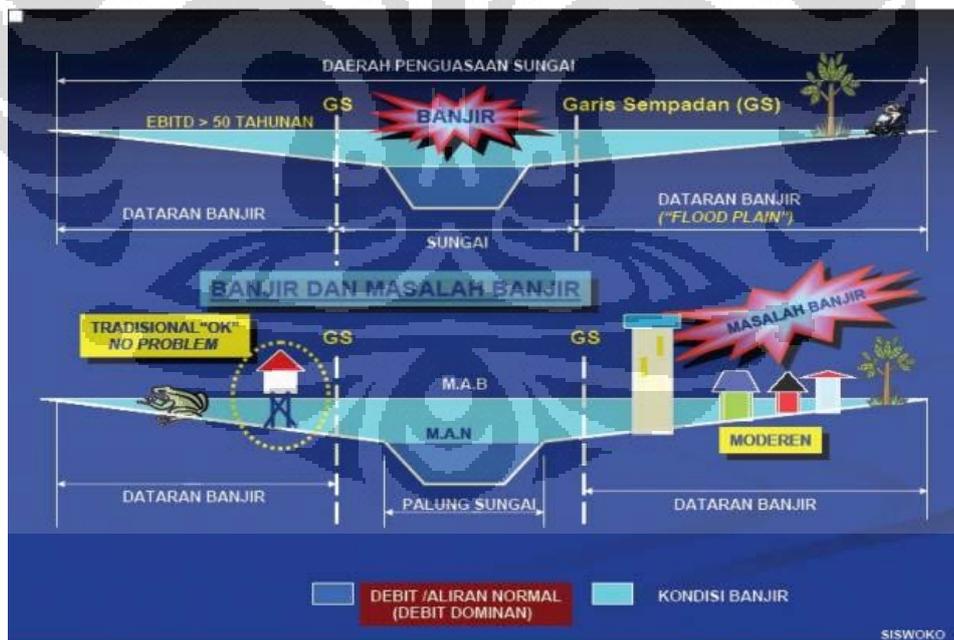


Gambar 2.4. Bentuk Sungai Pada Dataran Banjir (*flood plain*)

Masalah banjir mulai muncul sejak manusia bermukim dan melakukan berbagai kegiatan di kawasan yang berupa dataran banjir (*flood plain*) suatu

sungai. Kondisi lahan di kawasan ini pada umumnya subur serta menyimpan berbagai potensi dan kemudahan sehingga mempunyai daya tarik yang tinggi untuk dibudidayakan. Oleh karena itu, Kota-Kota besar serta pusat-pusat perdagangan dan kegiatan-kegiatan penting lainnya seperti kawasan industri, pariwisata, prasarana perhubungan dan sebagainya sebagian besar tumbuh dan berkembang di kawasan ini.

Dataran banjir (*flood plain*) adalah lahan / dataran yang berada di kanan kiri sungai yang sewaktu-waktu dapat tergenang banjir. Berdasarkan Peraturan Menteri PU No. 63 / 1993 tentang Garis Sempadan Sungai dan Bekas Sungai, batas dataran banjir ditetapkan berdasarkan debit rencana sekurang-kurangnya untuk periode ulang 50 tahunan. Contoh: kurang lebih 40 – 50 % wilayah DKI Jakarta berada di dataran banjir 13 sungai yang melewatinya. Real estat, hotel mewah, pertokoan, perkantoran, dan perumahan mewah di DKI Jakarta yang terendam banjir pada bulan Januari – Februari 2002 semuanya berada di dataran banjir. (Siswoko, 2007)



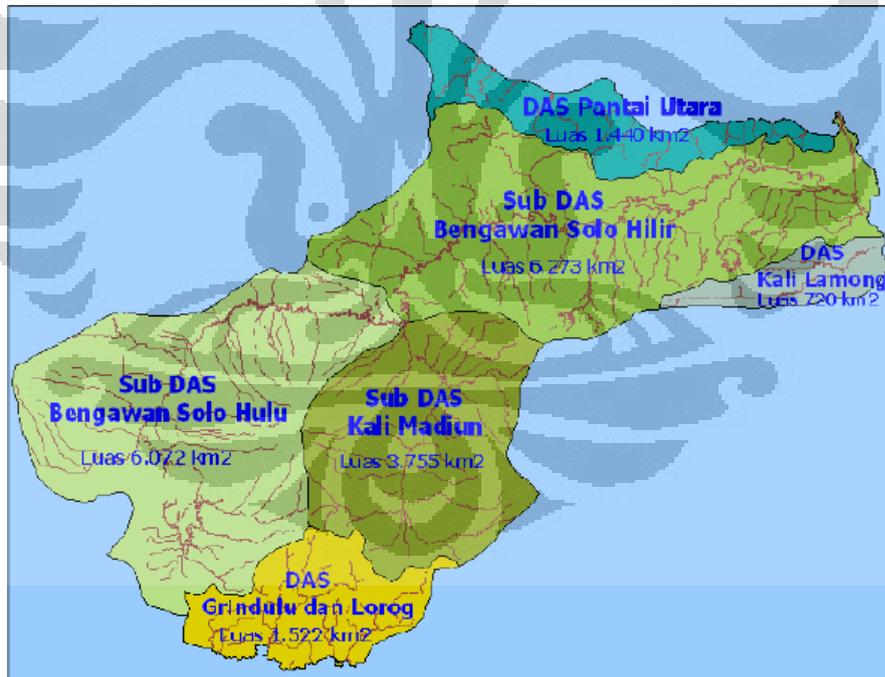
Gambar 2.5. Dataran Banjir (*flood plain*)

2.2 DAS Bengawan Solo

Daerah aliran sungai atau DAS adalah sebidang lahan yang menampung air hujan dan mengalirkannya menuju parit, sungai dan akhirnya bermuara ke danau atau laut. Istilah yang juga umum digunakan untuk DAS adalah daerah tangkapan air (DTA) atau *catchment* atau *watershed*. Batas DAS adalah punggung perbukitan yang membagi satu DAS dengan DAS lainnya.

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa yang mengalir dari deretan Pegunungan Sewu hingga ke Laut Jawa di utara Surabaya, dengan luas DAS 16.100 km². DAS sungai Bengawan Solo terbagi atas 3 sub-DAS yaitu:

1. Sub DAS Bengawan Solo Hulu (6.702 km²)
2. Sub DAS Bengawan Solo Hilir (6.273 km²)
3. Sub DAS Kali Madiun (3.755 km²)



Gambar 2.6. Pembagian Wilayah DAS Bengawan Solo

DAS Sungai Bengawan Solo, yang terletak di Propinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur dengan luas wilayah sungai kurang lebih 12% dari seluruh wilayah Pulau Jawa merupakan sungai terbesar di Pulau Jawa. Sebagai sumber air yang sangat

potensial bagi usaha-usaha pengelolaan dan pengembangan sumber daya air (SDA), sungai Bengawan Solo digunakan untuk kebutuhan domestik, air baku, air minum dan industri, irigasi dan lain-lain. DAS Solo dengan sungai utamanya Bengawan Solo, memiliki permasalahan yang begitu kompleks. Selain data tersebut di atas, masih banyak permasalahan lain yang berpangkal pada tekanan penduduk yang sangat berat sehingga fungsi dan manfaat DAS menurun (Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, 2008).

Banjir dan tanah longsor disebabkan oleh faktor-faktor alam dan kegiatan manusia yang terkait dengan pemanfaatan sumber daya alam yang menyebabkan menurunnya fungsi hidrologis ekosistem DAS. Faktor alam terutama disebabkan karena curah hujan yang sangat tinggi dan kondisi tangkapan air DAS. Sedangkan faktor manusia disebabkan karena perubahan penggunaan lahan, sarana prasarana drainase yang belum baik serta kelembagaan pemerintah dan masyarakat yang belum mantap. Di sisi lain tanah longsor sangat terkait dengan curah hujan dan kerentanan gerakan tanah (faktor geologi) yang dipicu oleh pola penggunaan lahan yang salah dan pola usaha tani yang tidak sesuai dengan prinsip-prinsip konservasi tanah dan air.

Pertambahan penduduk yang terus meningkat, tuntutan penyediaan pangan yang memadai, dan perubahan tata guna lahan akibat alih fungsi lahan yang sering tidak terkendali, serta pengaruh curah hujan yang cukup tinggi diduga merupakan faktor yang lebih berperan saat ini sebagai penyebab terjadinya bencana banjir/tanah longsor dan kekeringan di wilayah pengelolaan Daerah aliran Sungai Solo. Kehadiran bangunan-bangunan infrastruktur pengairan, diantaranya Waduk Gajah Mungkur, yang diharapkan dapat mencegah kejadian banjir seperti halnya banjir yang terjadi pada tahun 1966 dinilai belum maksimal.

Permasalahan utama dalam pengelolaan DAS di Wilayah Sungai Bengawan Solo diantaranya adalah banjir, kekeringan, erosi dan sedimentasi, intrusi air laut, kualitas air dan lain-lain yang disebabkan oleh:

- 1) Terus menurunnya kondisi hutan
- 2) Kerusakan DAS yang diakibatkan penebangan liar dan konversi lahan yang menimbulkan kerusakan ekosistem dalam tatanan DAS
- 3) Lemahnya penegakan hukum terhadap pembalakan liar (*illegal logging*)
- 4) Masih rendahnya kesadaran masyarakat dalam pemeliharaan lingkungan

Ada tiga bentuk tanggapan manusia terhadap bahaya banjir yaitu *adjustment* (penyesuaian), *protection* (perlindungan) dan *abatement* (pengurangan potensi).

Adjustment lebih mengarah pada penataan manusia, karena banjir tidak akan menjadi problem jika tidak ada manusia yang terkena dampak. *Protection* merupakan bentuk perlindungan manusia terhadap banjir dalam bentuk modifikasi saluran drainase/sungai. *Protection* lebih mengarah pada perlakuan di lingkungan terjadinya banjir untuk meminimalisasi luapan ke daerah terlindung. Setiap infrastruktur memiliki keterbatasan protection level, sehingga perlu inovasi secara kontinyu, untuk mengantisipasi periode ulang banjir yang lebih tinggi (Ward, 1978).

2.3 Curah Hujan

Letak Indonesia yang berada di sekitar khatulistiwa dan merupakan negara kepulauan diantara dua benua dan dua samudera menyebabkan Indonesia memiliki curah hujan yang tinggi. Menurut Sandy (1996), jumlah hujan di Indonesia sangat bergantung pada beberapa hal, salah satunya adalah letak Daerah Konvergensi Antar Tropik (DKAT). DKAT ini merupakan suatu zona atau daerah yang lebar dimana suhu udara sekitarnya adalah yang tertinggi. Suhu tinggi ini menyebabkan tekanan udara di atas zona itu rendah, hal itu menyebabkan gerakan udara naik sehingga menyebabkan terbentuknya awan-awan hujan. Rata-rata curah hujan di Indonesia untuk setiap tahunnya tidak sama. Namun masih tergolong cukup banyak dengan rata-rata 2000 – 3000 mm tiap tahunnya. Begitu pula antara tempat yang satu dengan tempat yang lain rata-rata curah hujannya tidak sama.

2.4 Banjir

Banjir adalah luapan air dari saluran sungai ke daratan yang biasanya. Luapan sungai yang mengakibatkan banjir sering terjadi ketika musim hujan yang panjang atau pencairan salju yang cepat (Pedoman Pengendalian Pemanfaatan Ruang di Kawasan Rawan Bencana Banjir, PU).

Beberapa aspek yang termasuk dalam faktor kondisi alam penyebab banjir adalah kondisi alam (misalnya letak geografis wilayah), kondisi topografi, geometri sungai, (misalnya meandering, penyempitan ruas sungai, sedimentasi dan adanya ambang atau pembendungan alami pada ruas sungai), serta pemanasan global yang menyebabkan kenaikan permukaan air laut. Tidak tertutup kemungkinan terjadinya degradasi lahan, sehingga menambah luasan areal dataran rendah juga menjadi faktor terjadinya banjir.

a. Topografi

Daerah-daerah dataran rendah atau cekungan, merupakan salah satu karakteristik wilayah banjir atau genangan.

b. Tingkat Permeabilitas Tanah

Daerah-daerah yang mempunyai tingkat permeabilitas tanah rendah, mempunyai tingkat infiltrasi tanah yang kecil dan runoff yang tinggi.

Daerah Pengaliran Sungai (DPS) yang karakteristik di kiri dan kanan alur sungai mempunyai tingkat permeabilitas tanah yang rendah, merupakan daerah potensial banjir.

c. Kondisi Daerah Pengaliran Sungai

Daerah pengaliran sungai (DPS) yang berbentuk ramping mempunyai tingkat kemungkinan banjir yang rendah, sedangkan daerah yang memiliki DPS berbentuk membulat, mempunyai tingkat kemungkinan banjir yang tinggi. Hal ini terjadi karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai (orde yang lebih kecil) yang hampir sama, sehingga bila hujan jatuh merata di seluruh DPS, air akan datang secara bersamaan dan akhirnya bila kapasitas sungai induk tidak dapat menampung debit air yang datang, akan menyebabkan terjadinya banjir di daerah sekitarnya.

d. Kondisi Geometri Sungai

1. Gradien Sungai

Pada dasarnya alur sungai yang mempunyai perubahan kemiringan dasar dari terjal ke relatif datar, maka daerah peralihan/pertemuan tersebut merupakan daerah rawan banjir.

2. Pola Aliran Sungai

Pada lokasi pertemuan dua sungai besar, dapat menimbulkan arus balik (back water) yang menyebabkan terganggunya aliran air di salah satu sungai, yang mengakibatkan kenaikan muka air (meluap). Pada saat hujan dengan intensitas tinggi, terjadi peningkatan debit aliran sungai sehingga pada tempat pertemuan tersebut debit aliran semakin tinggi, dan kemungkinan terjadi banjir.

3. Daerah Dataran Rendah

Pada daerah Meander (belokan) sungai yang debit alirannya cenderung lambat, biasanya merupakan dataran rendah, sehingga termasuk dalam klasifikasi daerah yang potensial atau rawan banjir.

4. Penyempitan dan Pendangkalan Alur Sungai

Penyempitan alur sungai dapat menyebabkan aliran air terganggu, yang berakibat pada naiknya muka air di hulu, sehingga daerah di sekitarnya termasuk dalam klasifikasi daerah rawan banjir.

Pendangkalan dasar sungai akibat sedimentasi, menyebabkan berkurangnya kapasitas sungai yang menyebabkan naiknya muka air di sekitar daerah tersebut.

Selain itu faktor peristiwa alam yang dapat menyebabkan banjir antara lain:

- a) Curah hujan yang tinggi dan lamanya hujan;
- b) Air laut pasang yang mengakibatkan pembendungan di muara sungai;
- c) Air/arus balik (back water) dari sungai utama;
- d) Penurunan muka tanah (land subsidance);
- e) Pembendungan aliran sungai akibat longsor, sedimentasi dan aliran lahar dingin.

2.5 Model regresi linier berganda

Analisis regresi linier berganda memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memasukkan lebih dari satu variabel prediktor hingga p -variabel prediktor dimana banyaknya p kurang dari jumlah observasi (n), sehingga model regresi dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \dots + \beta_pX_p + \varepsilon$$

Karena model diduga dari sampel, maka secara umum ditunjukkan sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_px_p$$

Penggunaan regresi linear sederhana didasarkan pada asumsi diantaranya sebagai berikut:

- Model regresi harus linier dalam parameter
- Variabel bebas tidak berkorelasi dengan *disturbance term (Error)* .
- Nilai *disturbance term* sebesar 0 atau dengan simbol sebagai berikut:
($E(U / X) = 0$)
- Varian untuk masing-masing *error term* (kesalahan) konstan
- Tidak terjadi otokorelasi.
- Model regresi dispesifikasi secara benar. Tidak terdapat bias spesifikasi dalam model yang digunakan dalam analisis empiris.
- Jika variabel bebas lebih dari satu, maka antara variabel bebas (*explanatory*) tidak ada hubungan linier yang nyata (Sarwono,2008)

Model kelayakan regresi linear didasarkan pada hal-hal sebagai berikut:

- Model regresi dikatakan layak jika angka signifikansi pada ANOVA sebesar < 0.05
- Predictor yang digunakan sebagai variabel bebas harus layak. Kelayakan ini diketahui jika angka *Standard Error of Estimate* $<$ *Standard Deviation*
- Koefesien regresi harus signifikan. Pengujian dilakukan dengan Uji T. Koefesien regresi signifikan jika $T \text{ hitung} > T \text{ table}$ (nilai kritis)

- d. Tidak boleh terjadi multikolinieritas, artinya tidak boleh terjadi korelasi yang sangat tinggi atau sangat rendah antar variabel bebas. Syarat ini hanya berlaku untuk regresi linier berganda dengan variabel bebas lebih dari satu.
- e. Tidak terjadi otokorelasi. Terjadi otokorelasi jika angka Durbin dan Watson (DB) sebesar < 1 dan > 3
- f. Keseluruhan model regresi dapat diterangkan dengan menggunakan nilai r^2 semakin besar nilai tersebut maka model semakin baik. Jika nilai mendekati 1 maka model regresi semakin baik. Nilai r^2 mempunyai karakteristik diantaranya: 1) selalu positif, 2) Nilai r^2 maksimal sebesar 1. Jika Nilai r^2 sebesar 1 akan mempunyai arti kesesuaian yang sempurna. Maksudnya seluruh variasi dalam variabel Y dapat diterangkan oleh model regresi. Sebaliknya jika r^2 sama dengan 0, maka tidak ada hubungan linier antara X dan Y.
- g. Terdapat hubungan linier antara variabel bebas (X) dan variabel tergantung (Y)
- h. Data harus berdistribusi normal
- i. Data berskala interval atau rasio
- j. Kedua variabel bersifat dependen, artinya satu variabel merupakan variabel bebas (disebut juga sebagai variabel *predictor*) sedang variabel lainnya variabel terikat (disebut juga sebagai variabel *response*). (Sarwono,2008)

2.6 Pemodelan spasial

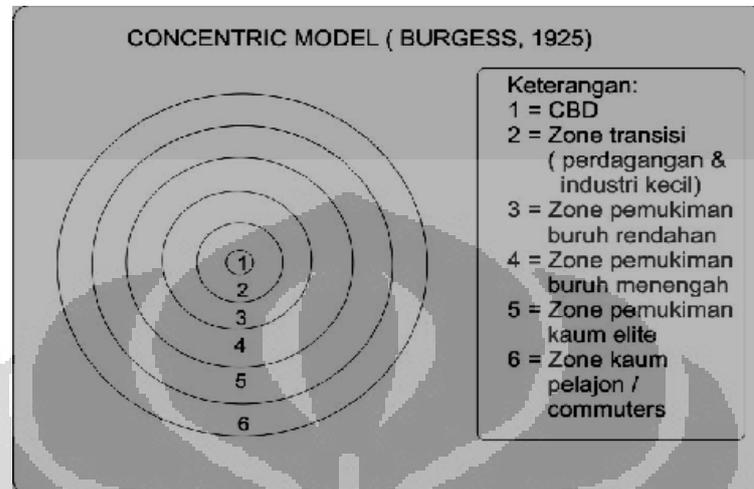
Penggunaan istilah model dapat digunakan dalam tiga pengertian yang berbeda maknanya. Sebagai kata benda yang mengandung makna sebagai sesuatu yang mewakili, sebagai kata sifat mengandung pengertian hal yang ideal, dan sebagai kata benda maknanya adalah untuk memeragakan. Model dibuat karena adanya kompleksitas kenyataannya, suatu model adalah gambaran penyederhanaan dari keadaan-keadaan yang sebenarnya (Hagget,2001).

Model merupakan representasi dari realita. Tujuan pembuatan model adalah untuk membantu mengerti, menggambarkan, atau memprediksi bagaimana suatu fenomena bekerja di dunia nyata melalui penyederhanaan bentuk fenomena tersebut. Pemodelan spasial terdiri dari sekumpulan proses yang dilakukan pada data spasial untuk menghasilkan suatu informasi umumnya dalam bentuk peta. Kita dapat menggunakan informasi tersebut untuk pembuatan keputusan, kajian ilmiah, atau sebagai informasi umum (*Arcview Modelling*,2010).

Beberapa model spasial menggunakan grid dan sebagian tidak menggunakan grid. Contoh model spasial yang tidak menggunakan grid adalah model konsentris. Teori ini berawal dari penelitian pembangunan Kota Chicago oleh Burgess pada tahun 1925, atas dasar kajiannya terhadap struktur Kota Chicago pada tahun 1920-an maka Burgess mengemukakan teori Konsentris atau model Konsentris yang disebut juga "Zoning Model". Model ini mencerminkan struktur pertumbuhan spatial dari suatu Kota yang berupa zona zona yang konsentris. Menurut Burgess, Kota Chicago meluas secara merata dari suatu inti asli sehingga tumbuhlah zona zona yang masing masing meluas sejajar dengan pentahapan kolonisasi kearah zona yang letaknya paling luar. Dengan demikian setiap saat dapat ditemukan sejumlah zona yang letaknya konsentris, sehingga strukturnya menjadi bergelang. Asumsinya : keterjangkauan adalah sama untuk segala arah (bentuk lingkaran). Dalam model ini dikemukakan bahwa lahan Kota terbagi menjadi enam zona penggunaan yaitu :

- Zona dalam dimulai dengan *Central Business District (CBD)*, dengan fungsi pusat kegiatan perekonomian dan perdagangan serta jasa komersial
- zona peralihan (*transition zone*), dengan fungsi kawasan pertokoan, perkantoran, perumahan sempit/kumuh
- Zona Pemukiman Pekerja (*Zone of working men's home*), terdiri dari buruh rendahan dengan penduduk banyak yang berasal dari zona peralihan dan migrant, dengan pertimbangan jaraknya yang dekat dengan tempat kerja dan buruh menengah, rumah tidak berdempetan lagi
- Zona Pemukiman yang lebih baik (*Zone of better residences*)
- Zona para penglaju (*zone of commuters*), termasuk kawasan pedesaan

Dalam teori ini terdapat penurunan harga sewa per m² apabila semakin jauh dari pusat Kota. Sedangkan daerah yang mendekati CBD nilai sewa per m² disebabkan oleh persaingan untuk penggunaan dan pemanfaatan lahan (*site*) yang semakin ketat maka nilai sewa semakin tinggi (Wicaksono, 2011).

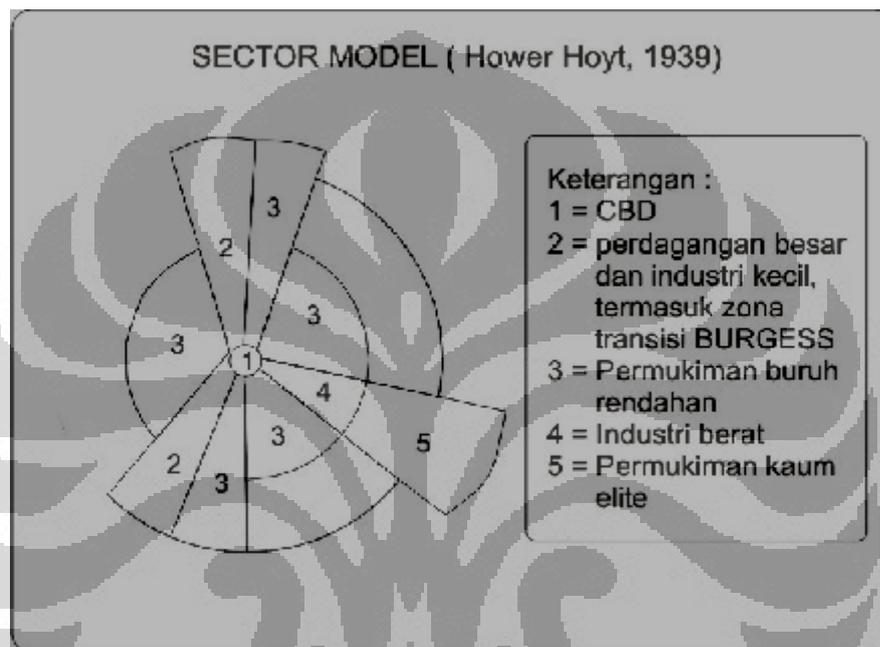


Gambar 2.7. Teori Model Konsentris

Selain model konsentris, model spasial lain adalah model Model Sektoral Teori yang dikemukakan oleh Homer Hoyt (1939) ini merupakan perluasan dari teori zona konsentris dengan pola pembangunan yang tidak merata (*irregular*). Teori Homer Hoyt tidak bertentangan dengan Burgess, hanya merupakan modifikasi saja. Dalam struktur Kota yang sektoral, pertumbuhan Kota yang paling pesat terjadi disepanjang jalan utama (arteri) dan pada koridor-koridor Kota. Ia mengatakan pengelompokan tata guna lahan di Kota itu menyebar dari pusat ke arah luar berupa sektor (*wedges*) yang bentuknya menyerupai kue taart. Dalam teori ini ditegaskan bahwa pertumbuhan Kota merupakan proses yang lebih mengedepankan bentuk sektoral dari suatu zona. Tata guna lahan di Kota mengalir dari pusat ke luar menyerupai bentuk taji (*wedges*) karena pada teori ini jelas sekali terlihat bahwa jalur transportasi yang menjari (menghubungkan pusat Kota ke bagian-bagian yang lebih jauh) diberi peranan yang besar dalam pembentukan pola struktur internal Kota (Yunus dan Sabari, 2000, dalam Wicaksono 2011). Teori ini mengkonsentrasikan pada lokasi perumahan dikawasan urban. Pada suatu ketika perumahan untuk penduduk berpendapatan tinggi akan ekspansi keluar dari pusat Kota mengikuti jalur perjalanan yang paling

cepat. Berlawanan dengan golongan berpendapatan rendah, lokasinya sering berdekatan dengan industri.

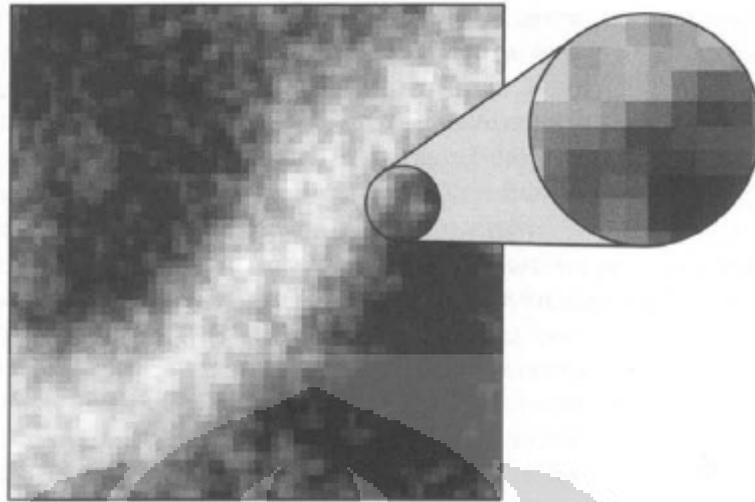
Hoyt (1939) mengatakan bahwa zona konsentris akan berubah menjadi bentuk sektoral. Penggunaan tanah yang cocok (*compatible*) letaknya akan bersebelahan. Pergudangan dan industri ringan akan bersebelahan dengan perumahan untuk pendapatan rendah. Blok atau sektor perumahan menyebar keluar dari pusat Kota, memisahkan diri dari pergudangan dan industri ringan.



Gambar 2.8. Model Sektoral

Salah satu pemodelan yang menggunakan sistem grid adalah *terrain*. *Terrain* merupakan salah satu pemodelan yang penting dalam pemograman grafik. *Terrain* umumnya diimplementasikan untuk obyek-obyek yang statis. Salah satu implementasi *terrain* yang banyak digunakan dalam pemodelan lanskap. Contoh pemodelan lanskap adalah pemodelan bentangan tanah, pinggiran pantai, pegunungan dan lain sebagainya.

Heightmap merupakan data yang digunakan sebagai masukan untuk membangun geometri *terrain*. *Heightmap* adalah peta digital yang memuat kedudukan titik yang diwakili oleh piksel dalam tiga dimensi yang dinyatakan dalam koordinat kartesian (nilai x, y, dan z). Nilai x dan y menyatakan kedudukan titik dalam bidang dan nilai z menyatakan ketinggian titik tersebut dalam ruang.



Gambar 2.9. Bentuk Tampilan Grid Dari Data Bitmap Grayscale

Gambar 2.9 merupakan contoh sebuah bitmap *grayscale* yang mempunyai kedalaman warna 8 bit, warna yang lebih gelap mempresentasikan area yang lebih rendah, sedangkan warna yang lebih terang menyatakan area yang lebih tinggi.

Beberapa jenis model yang dapat digunakan untuk menganalisa kejadian banjir (JICA, 2010) adalah :

1. Kinematic Wave Methode

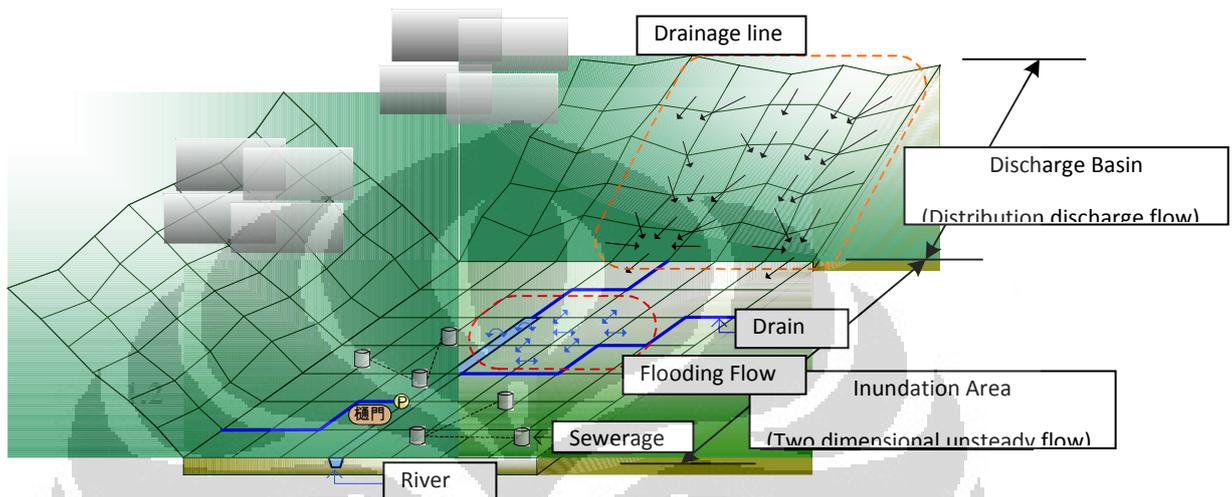
Kinematic Wave Methode, digunakan untuk menghitung aliran di tiap mesh dan tidak dipengaruhi tinggi muka air di daerah hilir. Sebagai model analisa secara keseluruhan, *Distribution Model* menyesuaikan debit yang terjadi yang menuju ke daerah banjir yang diberikan ke tiap mesh di daerah banjir, dan aliran di tiap mesh dapat di telusuri sepanjang kemiringan dari data topografi

2. Dynamic Wave Methode

Dynamic Wave Methode, dapat menunjukkan perubahan aliran yang datang karena pengaruh topografi dan struktur seperti saluran, digunakan untuk melakukan analisis aliran di daerah banjir

3. Two Dimensional Un-Steady Flow Model

Two Dimensional Un-Steady Flow Model, digunakan untuk seluruh model yang dapat menunjukkan fenomena aliran banjir lebih detail.



Gambar 2.10. Model Hidrologi dengan Sistem Grid

2.7 Pemodelan Banjir

Beberapa model yang dapat digunakan untuk memprediksi kejadian banjir memerlukan data ketinggian yang detail, baik akurasi maupun resolusinya. Kebanyakan model dua dimensi memiliki masalah dengan proses terjadinya banjir ke daerah kering dengan waktu yang cepat. Pemodelan dengan skema numerik yang lebih baru dapat menghilangkan masalah pada penggunaan model aliran dua dimensi. Berikut beberapa jenis model pemodelan banjir.

1. Robust Flow Model

Pemodelan ini telah berhasil diterapkan di lokasi muara seperti San Francisco. Pengujian (Jones dan Fulford, 2002). Keunggulan dari metode ini memungkinkan simulasi dalam waktu yang panjang dan tetap stabil ketika menstimulasikan hidrograf yang ekstrim, selain itu tidak perlu percobaan untuk melakukan pemodelan ini. Model yang diterapkan untuk

studi percontohan TrimR2D dapat menangani perubahan rezim aliran. Pemodelan ini juga mampu melakukan *ruting* arus pada sistem sungai yang curam dan dapat menampilkan simulasi ketika daerah mulai tergenang dan mulai surut.

2. Pemodelan Banjir Menggunakan TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Missions*)

Produk curah hujan dari NASA diperoleh dari satelit TRMM dan memiliki resolusi temporal 6-10 jam. Teramati bahwa penyesuaian bias hujan pada data satelit dapat diaplikasikan dalam memprediksi banjir dengan batasan tertentu. Data curah hujan tersebut dapat dihubungkan dengan dengan kejadian banjir sehingga dapat dimodelkan. Pemodelan ini menggunakan *software* HEC-HMS. Data yang diperlukan dalam *software* tersebut adalah topografi didapatkan dari data DEM dengan resolusi 10 m serta menggunakan algoritma dari Quinn. Dalam aplikasinya TRMM membutuhkan data lain untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi yaitu kesalahan rezim, musim (waktu), dan lokasi banjir (Harris et. al., 2007).

3. *Flood Modelling* menggunakan *Digital Terrain Models* (DTM)

Langkah pertama yang dilakukan adalah menganalisis frekuensi kejadian banjir dengan *Flood Frequency Analysis* (FFA), kemudian mendesain curah hujan dengan menggunakan URBS Model untuk menentukan distribusi curah hujan dan intensitasnya. Setelah itu mengaplikasikannya ke dalam peta topografi yang didapat dari Digital Terrain Models (Rahman dan Alkema).

2.8 Aplikasi Pemodelan Spasial Untuk Banjir

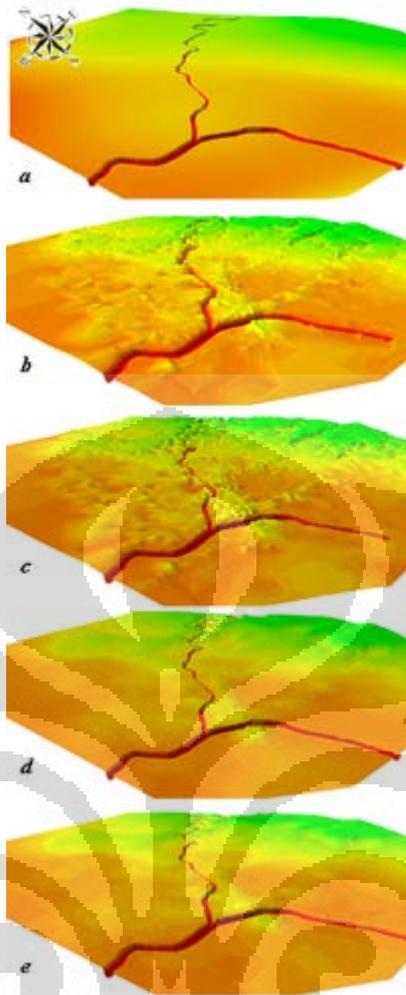
Sebuah model banjir 2D-hidrolik memerlukan data elevasi akurat. Salah satu masalah utama adalah perubahan penggunaan lahan yang sering terjadi di Kota-Kota besar, oleh karena model digital daerah itu perlu sering memperbarui untuk

pemodelan banjir dibutuhkan. Di sisi lain penilaian harus didasarkan pada indikator bahaya banjir yang realistis yang akan membantu untuk mencerminkan dampak nyata dari pembangunan perkotaan pada daerah sekitarnya. (Rahman dan Alkema, 2006)

Dalam sebuah makalah yang berjudul Digital Surface Model (DSM) Construction and Flood Hazard Simulation for Development Plans in Naga City, Philippines (Rahman dan Alkema) menyajikan contoh bagaimana cara mengidentifikasi dampak dari banjir untuk pengembangan masa depan di Naga City, Filipina. Data elevasi diperoleh dari mengintegrasikan berbagai data elevasi yang berasal dari berbagai sumber. Penilaian dampak pembangunan dimulai dengan pengamatan rinci tentang perubahan karakteristik banjir. Hal ini didukung oleh hasil analisis terhadap persepsi risiko banjir berbasis masyarakat dan investigasi terhadap perubahan bahaya banjir (berdasarkan kecepatan banjir dan kedalaman). Dalam penelitian ini pengumpulan data dibagi menjadi empat kelompok utama sebagai berikut :

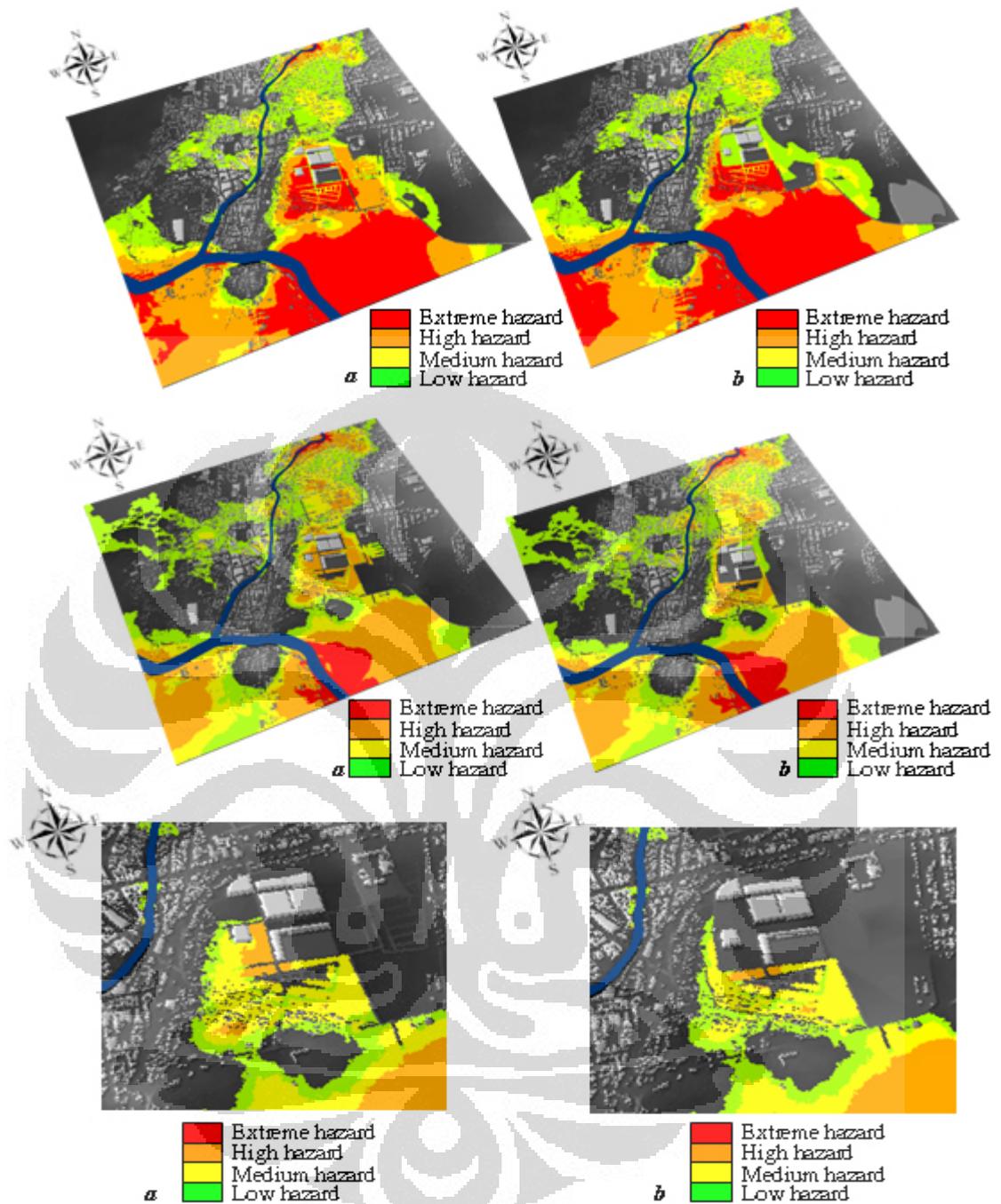
1. Data elevasi atau topografi
2. Penggunaan lahan atau tutupan lahan
3. Banjir saat ini dan perkembangannya di masa depan
4. Curah hujan dan kedalaman air banjir selama Super Typhoon Nanmadol.

Penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap utama, yaitu 1) persiapan data dan analisa, 2) DTM dan pemodelan DSM, 3) kalibrasi model banjir dan 4) pengembangan identifikasi dampak banjir. Tahap pertama berfokus pada data, analisis persiapan dan integrasi. Data utama dibagi ke dalam penggunaan lahan dan tutupan lahan, informasi banjir, data hidrologi dan data bahaya/kerawanan banjir. Tahap berikutnya adalah memodelkan kondisi fisik seperti topografi atau ketinggian, curah hujan penggunaan tanah, dan lain sebagainya. Pembuatan model selesai maka tahap berikutnya adalah mengkalibrasi model tersebut. software yang digunakan dalam pemodelan ini adalah SOBEK, software ini digunakan untuk mensimulasikan kejadian-kejadian banjir.



**Gambar 2.11. Berbagai Model untuk Menggambarkan Topografi a.TIN-
 Berbasis Terrain Model, b.ANUDEM c.Krigging (100 m), d. Krigging (5 m), e.
 Tampilan 3D**

Hasil dari pemodelan yang dilakukan (Rahman dan Alkema) dengan cara ini adalah tergambarnya waktu dan wilayah kejadian banjir di Naga City, Filipina. Kejadian banjir diklasifikasikan ke dalam 4 kelas yaitu : banjir ringan, banjir sedang, banjir besar, dan banjir ekstrim.



Gambar 2.12. Model Wilayah Banjir di Naga City, (Kiri) Gambaran Banjir 17,5 Tahun dan (Kanan) Gambaran Banjir 10 Tahun

BAB 3

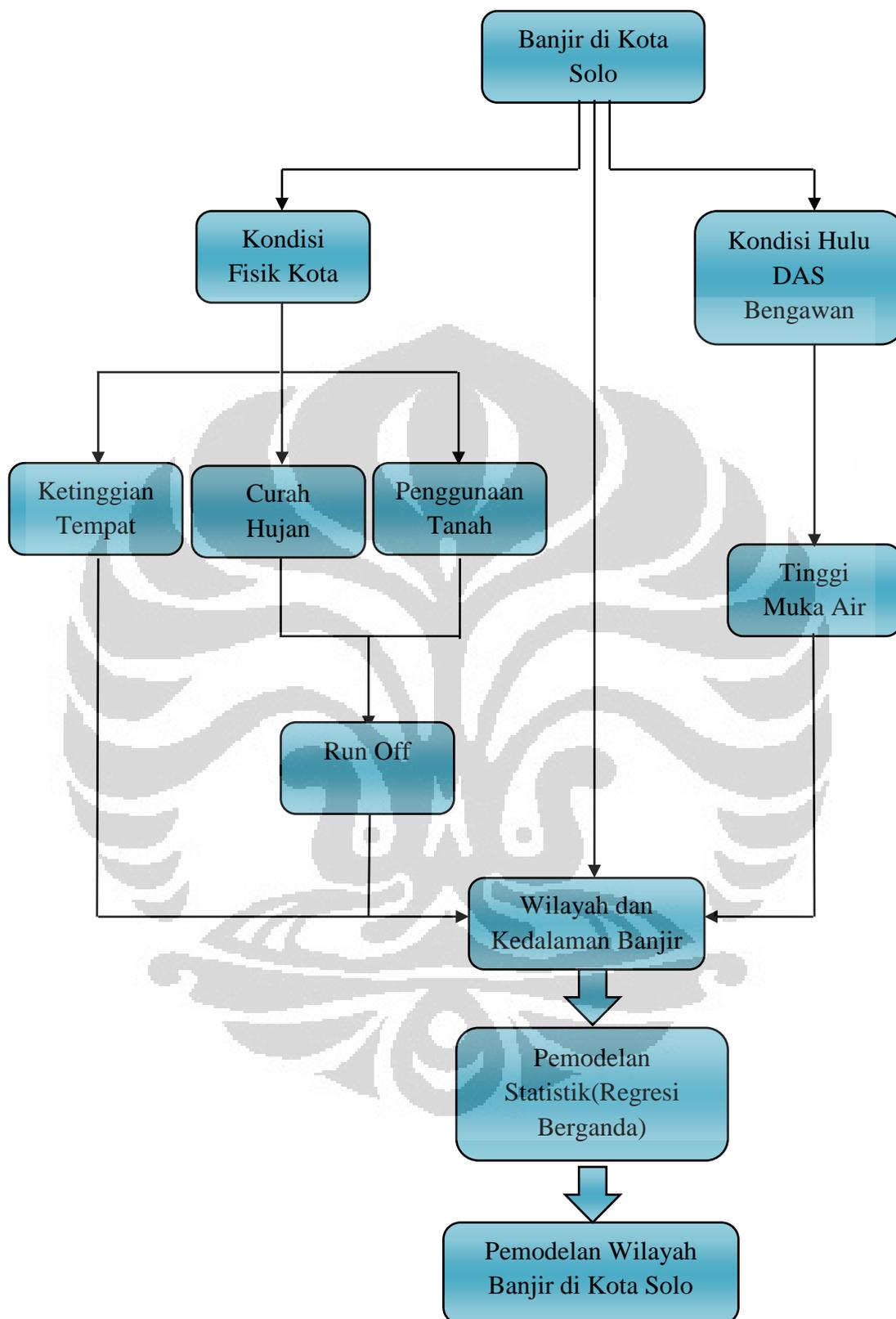
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Pendekatan

Metode dalam penelitian ini menggunakan metode statistik yang menggunakan regresi untuk membuat pemodelan secara statistik yang selanjutnya dispasialkan dengan menggunakan unit grid sehingga menjadi pemodelan spasial. Selain itu penelitian ini menggunakan analisis bersifat deskriptif dengan mengkorelasikan peta dan survei lapang untuk pengecekan/verifikasi data yang telah diperoleh. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa variabel untuk membuat peodelan, yaitu :

- 1) Curah hujan harian
- 2) Ketingian tempat (elevasi dari muka laut, dengan satuan m dpl)
- 3) Penggunaan tanah
- 4) Tinggi muka air sungai
- 5) Sistem drainase (sungai)
- 6) kedalaman banjir (sesuai dengan elevasi local)

Variabel tersebut diperlukan dalam proses pembuatan model banjir, hal ini tergambar dalam diagram alur pikir penelitian. Dalam alur penelitian digambarkan bahwa banjir di Kota Solo disebabkan oleh faktor eksternal dan internal. Faktor eksternal adalah kondisi DAS Bengawan Solo bagian hulu (lebih tinggi dari Kota Solo) yang telah tergambar dalam tinggi muka air Bengawan Solo dan factor internal adalah kondisi fisik Kota Solo yang dapat mempengaruhi kedalaman banjir yaitu curah hujan, penggunaan tanah dan ketinggian wilayah. Penggunaan tanah yang memiliki koefisien limpasan dan besarnya curah hujan merupakan penentu seberapa besar run off yang terjadi. Kedalaman banjir dipengaruhi oleh ketinggian, run off, dan tinggi muka air sungai ($B = f[Ch, Lu, Tmas, E]$). Seluruh variabel tersebut dimodelkan secara statistik lalu di spasialkan dengan membantu wilayah banjir (Lihat Gambar 10).



Gambar 3.1. Alur Pikir Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

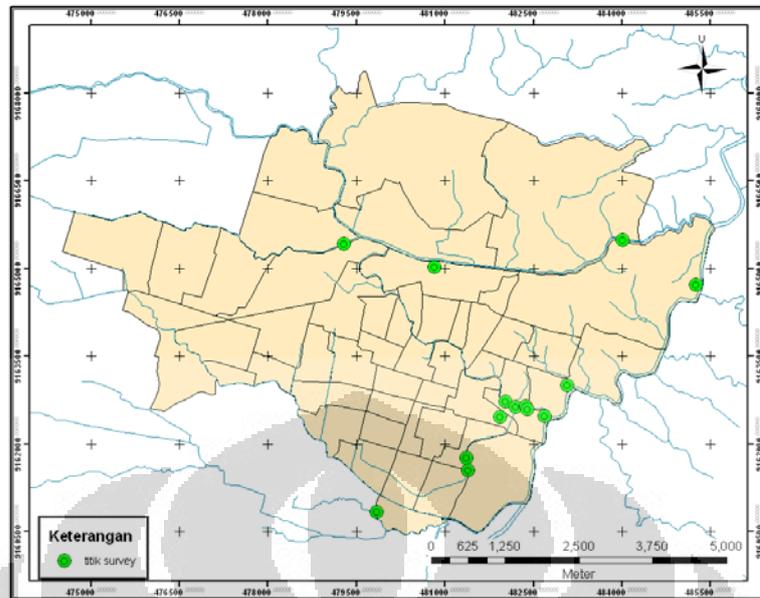
Sebagian besar data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang di peroleh dari instansi terkait. Data primer yang dikumpulkan berupa titik kejadian banjir dan tinggi genangan. Data-data yang dikumpulkan adalah:

- 1) Wilayah Administrasi Kota Solo (BPN dan BAPPEDA Kota Solo)
Data yang diperlukan adalah data digital dengan format Shapefile. Data yang telah didapat dari BPN berupa data peta administrasi dan masih berformat JPEG, sehingga masih perlu mengubahnya dengan mendijitasi peta administrasi tersebut.
- 2) Data tinggi muka air sungai(BBWS Bengawan Solo)
Data yang di dapat dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo adalah data tinggi muka air Bengawan Solo di stasiun Jurug. Data tersebut berupa data tabular (berformat xls) dari tahun 2000 hingga 2009. Selain tinggi muka air sungai data yang di dapat dari BBWS Bengawan Solo adalah data debit yang dapat dikonversi menjadi data tinggi muka air sungai.
- 3) Data curah hujan (BBWS Bengawan Solo dan PU)
Data curah hujan yang di dapat dari BBWS berupa data curah hujan stasiun Pabelan, Nepen, dan Karang Anyar. Data tersebut berupa data curah hujan harian berbentuk tabular dari tahun 2000 sampai 2010. Data yang di dapat dari Dinas Pekerjaan Umum (PU Pusat) berupa data curah hujan harian tahun 2009 di seluruh stasiun yang berada pada DAS Bengawan Solo. Dari PU Kota Solo telah didapatkan data curah hujan harian stasiun Pabelan dari tahun 1986 sampai ahun 2008.
- 4) Peta Penggunaan tanah(BPN dan BAPPEDA)
Peta penggunaan tanah di dapat dari Badan Pertanahan Nasional Kota Solo dan masih berformat gambar (JPEG). Peta tersebut merupakan interpretasi dan dijitasi dari citra QuickBird tahun 2007. Data penggunaan tanah berformat Shapefile di dapat dari BPN pusat namun dengan skala yang lebih kecil yaitu 1 : 100.000.

- 5) Peta jaringan drainase dan jaringan sungai(BWS Bengawan Solo dan PU)
Data jaringan sungai yang di dapat sudah berupa data Shapefile dan mencakup seluruh DAS Bengawan Solo.
- 6) Tinggi genangan banjir (PU dan Survei)
Data tinggi genangan banjir di dapar dari PU Kota Solo. Tinggi ini merupakan pemantauan pada stasiun pantau muka air di Pintu Air Sangkrah. Data yang di dapat berupa data tabular namun belum berformat xls (berupa catatan dari petugas penjaga pintu air).
Survei yang telah dilakukan adalah bertanya kepada warga dan pejabat pemerintah kelurahan mengenai peristiwa banjir yang terjadi di daerah tersebut. Survei telah dilakukan di beberapa daerah yang menurut data dari BBWS sering terjadi peristiwa banjir (terutama daerah bantaran sungai) seperti kelurahan Jebres, Sangkrah, Kampung Sewu, Joyosuran, Joyotakan, dan Semanggi. Suvei dilakukan pada tanggal 5 sampai 12 april 2010.



Gambar 3.2. Lokasi Stasiun Pengukuran Tinggi Muka Air



Gambar 3.3. 13 Titik Lokasi Survei

7) Ketinggian Tempat (PU Kota Solo)

Data ketinggian tempat di dapat dari Dinas Pekerjaan Umum dengan interval kontur 1 meter dan data belum berbentuk digital.

3.3 Pengolahan Data

Data - data yang diperoleh dalam penelitian ini, baik data tabular maupun spasial, diolah dengan basis Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan menggunakan *software Arcview 3.3* dan *ArcGIS 9.3* serta dianimasikan menggunakan *GIF Animator*. Dari tahap pengolahan data yang berasal dari data primer dan data sekunder menghasilkan :

1) Peta wilayah penelitian

Diperoleh dari dijitasi peta Administrasi Kota Solo yang bersumber dari BPN Kota Solo dengan skala 1:10.000.

2) Peta sistem drainase atau jaringan sungai

Diperoleh dari peta digital sungai dalam DAS Bengawan Solo dari Dinas Pekerjaan Umum.

3) Peta Wilayah Ketinggian

Diperoleh dengan cara mendigitasi kontur yang berlandaskan pada peta topografi berdasarkan pengukuran dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Solo dengan interval kontur 1 m. Wilayah tinggi daerah penelitian diklasifikasikan menjadi lima, yaitu:

- a. < 94 m dpl
- b. 94 – 104 m dpl
- c. 104 – 114 m dpl
- d. 114 – 124 m dpl
- e. > 124 m dpl

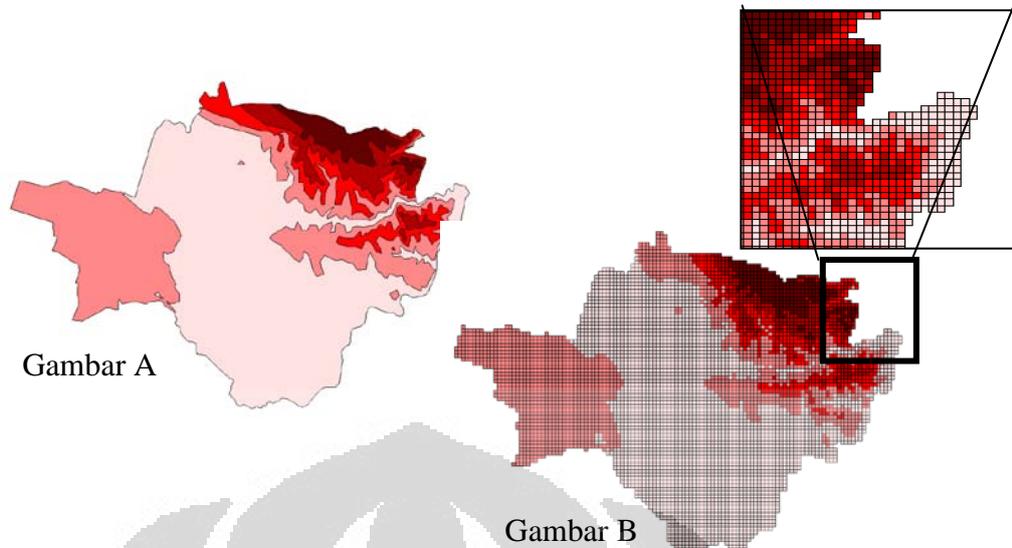
4) Peta penggunaan tanah

Peta digital penggunaan tanah tahun 2009 dari BPN dengan jenis penggunaan tanah terdiri dari:

- a. Badan air
- b. Bangunan/gedung
- c. Padang rumput
- d. Pemukiman
- e. Perkebunan/kebun
- f. Sawah
- g. Sawah tadah hujan
- h. Tegalan/lading
- i. Vegetasi air tawar

5) Konversi vektor ke grid

Peta yang berupa data vektor dikonversikan ke dalam grid yang berukuran 90 x 90 m dengan menggunakan *ekstensi spatial join* pada *ArcGis 9.3*. dengan mengkonversi menjadi sistem grid maka database variabel penelitian dapat terangkum dalam grid – grid yang telah dibuat.



Gambar 3.4. Konversi Vector (Gambar A) ke Grid (Gambar B)

Untuk memasukkan data koefisien limpasan maka dilakukan input data atribut koefisien limpasan yaitu mengolah data penggunaan tanah dengan memasukkan nilai koefisien limpasan pada setiap penggunaan tanah. Nilai koefisien limpasan yang digunakan bersumber dari BAPPEDA Kodya Surakarta, 1993.

Tabel 3.1. Koefisien Limpasan Berdasarkan Penggunaan Tanah

Penggunaan tanah	Nilai koefisien limpasan
Jalan beraspal	0,95
Industry, terminal induk, pergudangan umum, perusahaan	0,90
Perdagangan	0,80
Pemukiman	0,65
Sarana pendidikan dan jasa	0,50
Area terbuka, jalur hijau, kuburan	0,25

[Sumber : BAPPEDA Kodya Surakarta, 1993]

Penggunaan tanah pada tabel 3.1 dikelompokkan kembali menjadi 3 yaitu tanah Industri (penggabungan dari jalan beraspal, industri, terminal induk, pergudangan umum, perusahaan, dan perdagangan), perumahan

(penggabungan dari perumahan, sarana pendidikan, dan jasa), dan tanah tak terbangun (termasuk didalamnya area terbuka, jalur hijau, kuburan, pertanian, dan perkebunan). Nilai koefisien limpasan di ambil dari nilai rata-rata koefisien limpasan yang termasuk dalam kelompok tersebut. Jadi, tanah industri memiliki koefisien limpasan 0.90, pemukiman dengan nilai koefisien limpasan 0,575, dan tanah tak terbangun dengan nilai koefisien limpasan 0,25.

6) Model banjir secara statistik

Dari variabel koefisien limpasan, curah hujan, tinggi muka air sungai, ketinggian tempat dan kedalaman banjir dilakukan perhitungan korelasi dan membuat pemodelan statistik banjir menggunakan regresi linier berganda dengan kedalaman banjir sebagai variabel yang dipengaruhi (*dependent*). Pengkorelasiannya dilakukan dengan melihat faktor spasial dan temporal, sehingga perhitungan korelasi ada yang dilakukan berdasarkan 13 titik survei dan ada yang dilakukan berdasarkan waktu kejadian :

- a. Koefisien limpasan dengan kedalaman banjir → 13 titik
- b. Curah hujan dengan kedalaman banjir → 13 titik
- c. Tinggi muka air sungai dengan kedalaman banjir → 1 titik (berdasarkan waktu/temporal)
- d. Ketinggian tempat dengan kedalaman banjir → 1 titik (berdasarkan waktu/temporal)
- e. Koefisien limpasan dengan curah hujan → 13 titik
- f. Koefisien limpasan dengan tinggi muka air sungai → 13 titik
- g. Koefisien limpasan dengan ketinggian tempat → 13 titik
- h. Koefisien limpasan dengan kedalaman banjir → 13 titik
- i. Tinggi muka air sungai dengan ketinggian tempat → 13 titik
- j. Tinggi muka air sungai dengan curah hujan → 1 titik (berdasarkan waktu/temporal)
- k. Curah hujan dengan ketinggian tempat → 13 titik

Model statistik dihitung dengan melakukan analisis regresi linier terhadap variabel Y (tinggi genangan) dan variabel x1 (curah hujan), x2 (tinggi muka air sungai), x3 (koefisien limpasa), dan x4 (Ketinggian lokasi). Langkah – langkah dalam menghitung model statistik antara lain adalah dengan memasukkan data hasil survei (sampel) yang meliputi variabel Y, x1, x2, x3, x4 dan x5 ke dalam format *Excel* (.xls). Membuka *software* SPSS 17 kemudian membuka data hasil survei untuk dilakukan analisis. Melakukan analisis regresi linier berganda dengan persamaan dasar :

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_px_p$$

dengan keterangan:

Y	= variabel independen (tinggi genangan)
b_0	= konstanta
b_1, b_2, b_3, b_4, b_5	= koefisien untuk variabel x_1, x_2, x_3, x_4, x_5
x_1	= curah hujan
x_2	= tinggi muka air sungai
x_3	= koefisien limpasan
x_4	= ketinggian tempat

7) Peta model wilayah dan kedalaman banjir

Peta model wilayah dan kedalaman banjir terbentuk dengan memasukkan persamaan regresi pada setiap grid.

8) Data luas wilayah banjir

Diperoleh dengan melakukan penghitungan luas peta model wilayah banjir di Kota Solo dengan *software* Arc View 3.3 dan *extension* Xtools.

3.4 Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis regresi linier berganda (untuk analisis statistik) dan sistem grid (untuk analisis spasial) untuk menjawab masalah ke dua yaitu “Bagaimana model wilayah banjir di Kota Solo?”. Dengan menggunakan perhitungan statistik dan pengaplikasian sistem grid dapat diperoleh wilayah banjir yang kemudian dideskripsikan mengenai lokasi, luasan wilayah, dan kedalaman banjir. Untuk menjawab pertanyaan yang pertama “Bagaimana kejadian banjir di Kota Solo tahun 1988, 2007, 2008, dan 2009?” dilakukan dengan mendeskripsikan grafik, tabel, dan peta wilayah banjir.



BAB 4

GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN

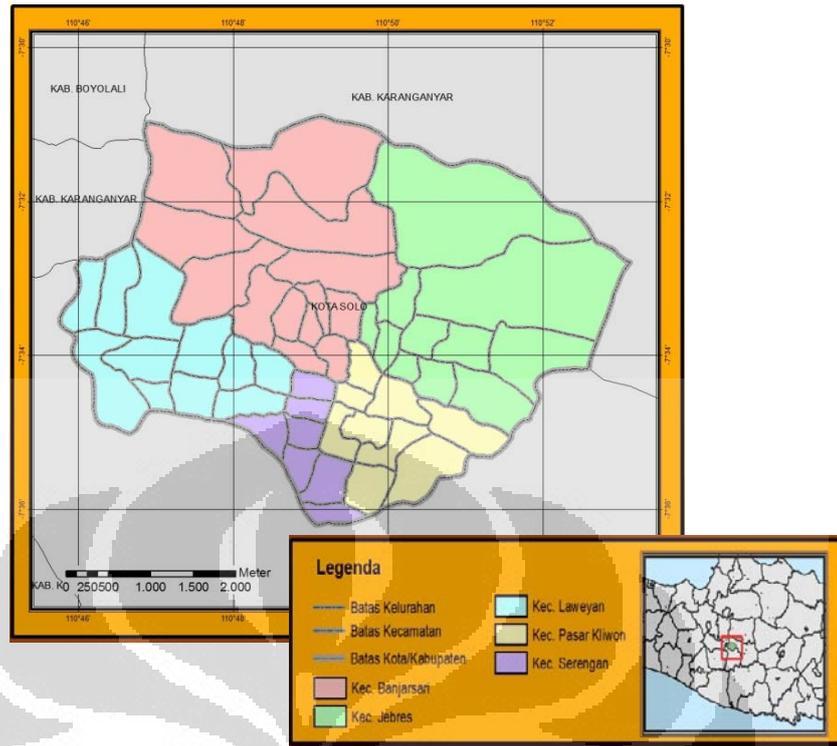
4.1 Letak Geografis dan Administrasi

Secara astronomis Kota Solo terletak diantara $110^{\circ} 45' 15''$ - $110^{\circ} 45' 35''$ Bujur Timur dan $7^{\circ} 36' 00''$ - $7^{\circ} 56' 00''$ Lintang Selatan. Lokasi Kota ini berada di dataran rendah yakni ± 92 m di atas permukaan laut yang diapit Gunung Merapi di barat dan Gunung Lawu di timur. Di sebelah selatan terbentang Pegunungan Sewu. Di sebelah timur mengalir Bengawan Solo dan di bagian utara mengalir Kali Pepe yang merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai Solo. Batas administrasi Kota Solo adalah sebagai berikut :

- Sebelah utara : Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Karanganyar
- Sebelah Timur : Kabupaten Sukoharjo dan Kabupaten Karanganyar
- Sebelah Selatan : Kabupaten Sukoharjo
- Sebelah Barat : Kabupaten Sukoharjo dan Kabupaten Karanganyar

Luas Kota Solo yaitu 4404,06 hektar yang terdiri dari lima kecamatan dan 51 kelurahan meliputi :

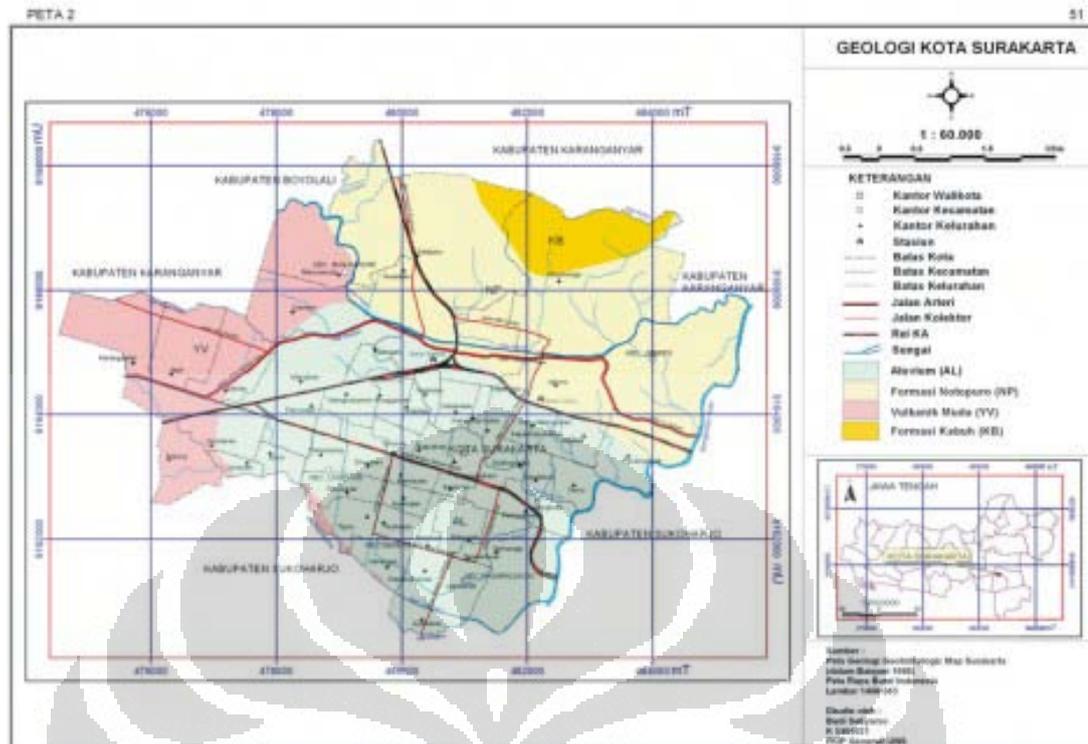
- Kecamatan Laweyan terdiri dari 11 kelurahan, dengan luas wilayah sebesar 863,8 Ha
- Kecamatan Serengan terdiri dari 7 kelurahan, dengan luas wilayah sebesar 319,4 Ha
- Kecamatan Pasar Kliwon terdiri dari 9 kelurahan, dengan luas wilayah sebesar 418 Ha
- Kecamatan Jebres terdiri dari 11 kelurahan, dengan luas wilayah sebesar 1.252,8 Ha
- Kecamatan Banjarsari terdiri dari 13 kelurahan, dengan luas wilayah sebesar 1.481,1 Ha



Gambar 4.1. Wilayah Administrasi Kota Solo

4.2 Kondisi Fisik

Kondisi Geologi Kota Solo menurut Van Bemmelen dibagi menjadi Zone Solo menjadi 3 bagian yaitu : Sub Zone Blitar, Sub Zone Solo (*sensustrico*) dan Sub Zone Ngawi. Menurut sistem pembagian ini Kota Surakarta (Solo) termasuk dalam Sub Zone Solo. Sub Zone Solo merupakan depresi endapan vulkanik muda yang membatasi sisi selatan Perbukitan Kendeng dan terdiri dari sederetan vulkan kuarter. Aliran permukaan menuju sub zone ini, sehingga material penyusun Sub Zone Solo adalah material endapan. Batuan di Kota Surakarta merupakan endapan dari Vulkan Lawu, Vulkan Merapi, Vulkan Merbabu, Perbukitan Kendeng dan Pegunungan Selatan (Widiyanto, 1982 dalam Baiquni, 1988 : 24).



Gambar 4.2. Geologi Kota Solo

Secara umum curah hujan di Kota Solo berlangsung dari bulan November – April setiap tahun. Curah hujan (*Annual Rain-fall*) sekitar 100 mm. Solo merupakan wilayah rendah bagian dari daerah aliran sungai (DAS) Bengawan Solo. Sejarah banjir yang melanda Solo dapat diklasifikasikan dalam dua tipe :

Tipe 1 : Banjir akibat meluapnya Bengawan Solo (*Back Water*)

Tipe 2: Banjir Lokal, dimana air yang terkumpul tidak dapat mengalir meskipun permukaan air di kali masih cukup rendah.

4.3 Topografi

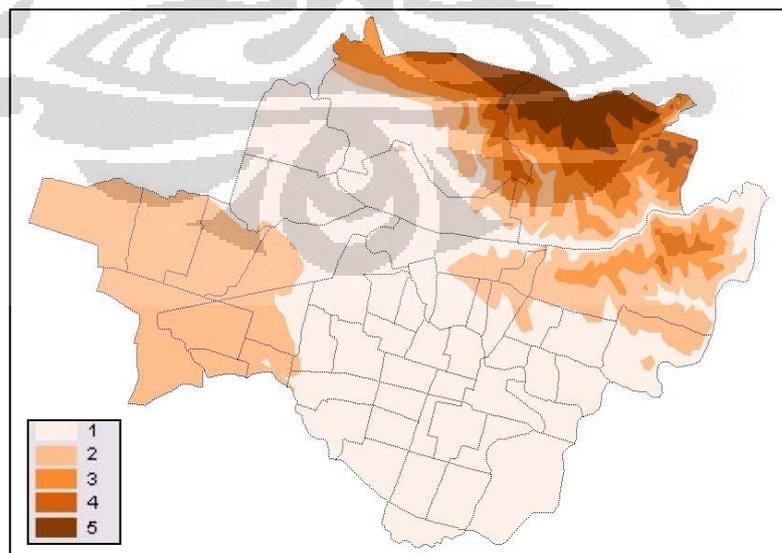
Kota Solo memiliki wilayah yang cenderung datar dan bergelombang. Kota Solo memiliki ketinggian mulai dari 84 meter di atas permukaan air laut sampai 134 meter di atas permukaan air laut, sehingga ketinggian wilayah Kota Solo diklasifikasikan menjadi :

Tabel 4.1. Luasan Wilayah Ketinggian Kota Solo

Kelas	Klasifikasi Ketinggian (m dpl)	Luas (Ha)	Persen (%)
1	84 – 94	2531	54,64
2	94 – 104	1347	29,07
3	104 – 114	335	7,24
4	114 – 124	250	5,39
5	124 – 134	169	3,66

(Sumber: Pengolahan Data, 2011)

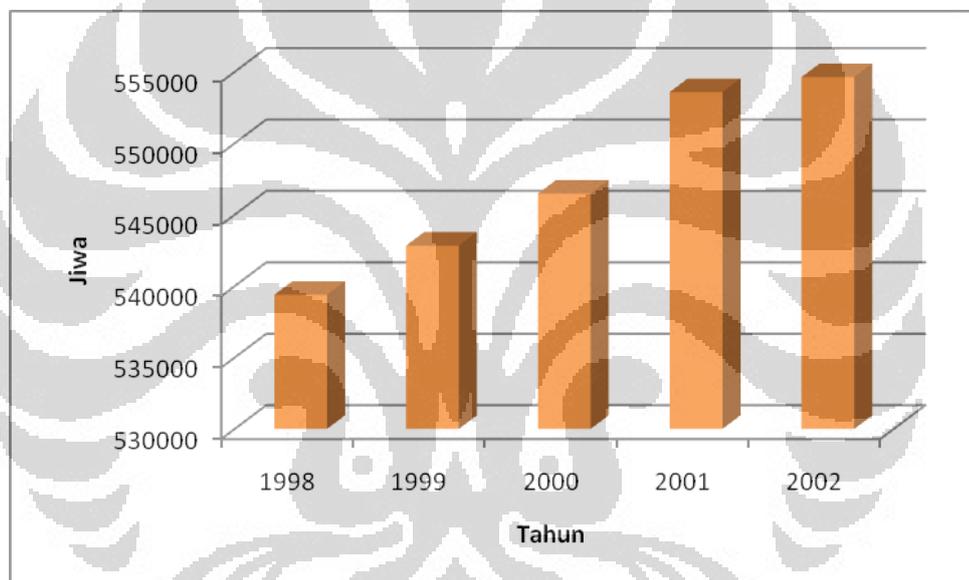
Wilayah yang memiliki ketinggian hingga 124-134 m dpl berada di sebelah timur laut Kota Solo dengan luas 169,476 Ha yang merupakan bagian dari hulu DAS Bengawan Solo. Sedangkan sebagian besar Kota Solo memiliki ketinggian antara 84-94 m dpl dengan luas 2531,407 Ha yang berada di bagian tengah wilayah Kota Solo.



Gambar 4.3. Wilayah Ketinggian Kota Solo

4.4 Kependudukan

Jumlah penduduk Kota Surakarta pada tahun 2002 sebanyak 554.630 jiwa. Dalam kurun waktu 5 tahun dari tahun 1998 sampai tahun 2002, jumlah penduduk Kota Surakarta mengalami kenaikan yang cukup nyata. Pada tahun 1998, penduduk Kota Surakarta berjumlah 539.387 jiwa, dan menjadi 554.630 jiwa pada akhir tahun 2002. Pertumbuhan penduduk rata-rata adalah 0,74%. Pertumbuhan tertinggi terjadi pada tahun 2001, yaitu sebesar 1,3%, sedangkan pertumbuhan terendah sebesar 0,18% terjadi pada tahun 2002. Jumlah penduduk Kota Surakarta tahun 1998 sampai dengan tahun 2002 dapat dilihat pada grafik (BPS Kota Solo, 2002).



Gambar 4.4. Grafik Pertumbuhan Penduduk Kota Solo Tahun 1998 - 2002

Kota Surakarta dengan luas wilayah 44,04 Km² memiliki jumlah penduduk sebanyak 490.214 jiwa yang tersebar ke 5 wilayah kecamatan. Kepadatan rata-rata adalah 12.594 jiwa/km². Wilayah dengan penduduk terpadat adalah Kecamatan Serengan dengan kepadatan 19.394 jiwa/km². Sedangkan wilayah dengan kepadatan terendah adalah kecamatan Jebres yaitu 10.127 jiwa/km² (Surakarta Dalam Angka, 2002).

Berdasarkan hasil Sensus Penduduk 2010, jumlah penduduk di Kota Surakarta tercatat sebanyak 500.642 jiwa, dimana jumlah penduduk perempuan

lebih banyak dari pada jumlah penduduk laki-laki, yaitu 257.279 jiwa perempuan dan 243.363 jiwa laki-laki sehingga memiliki rasio 96,06% yang berarti setiap 100 orang wanita terdapat 96 orang laki-laki. Pertumbuhan penduduk dalam kurung 10 tahun terakhir berkisar 0,565 % per tahun. Tingkat kepadatan penduduk di Surakarta adalah 11.370 jiwa/km².

4.5 Hidrologi dan Klimatologi

4.5.1 Sistem Perairan Kota Solo

Pengaturan perairan di Kota Solo dilakukan dengan mengatur saluran drainase, baik saluran buatan ataupun sungai. Beberapa contoh perencanaan sistem perairan yang dilakukan oleh pemerintah Kota adalah:

- Kali Anyar berfungsi untuk mengalihkan aliran Kali Pepe selama musim hujan, dengan mengatur pintu air Tirtonadi. Kali ini mempunyai debit $Q_{10} = 396 \text{ m}^3/\text{dt}$ (Widha,1994), dan telah dilakukan normalisasi oleh PBS th.1994, sehingga diharapkan banjir dibantaran kali Anyar sudah tidak terjadi lagi dan pengaruh back water di bendung Tirtonadi pada banjir 10 tahunan relatif kecil.
- Studi terhadap Kali Pepe Hulu telah dilakukan pada tahun 1986. Diketahui bahwa kapasitas penampang pada alur kali tersebut $Q = 170 \text{ s/d } 200 \text{ m}^3/\text{dt}$, sedang debit banjir $Q(10) = 339 \text{ m}^3/\text{dt}$, sehingga diusulkan untuk dilakukan normalisasi. Akan dilakukan review terhadap kajian tersebut sehubungan dengan perubahan tata-guna lahan dan wilayah alirannya.
- Debit rencana kali Sumber $Q(10) = 56 \text{ m}^3/\text{dt}$. Rekomendasi dilakukan normalisasi pada kali tersebut. Review perlu dilakukan ulang mengingat dari survei lapangan dan perubahan/perkembangan lahan telah banyak berubah.

➤ Sumber data laporan SSUDP untuk jaringan Air Limbah di wilayah Surakarta ada tiga sistem :

- Jaringan Kasunanan
- Jaringan Mangkunegaran
- Jaringan Jebres-Banjarsari

Hasil studi tersebut ada dua masalah yang menyebabkan tidak berfungsinya sistem di tempat-tempat tertentu. Dua masalah tersebut adalah :

- Pendangkalan Saluran
- Penggabungan Saluran Air Limbah dengan Saluran Drainase

➤ Kajian lain dilakukan P3KT yang memberikan usulan lokasi pengolahan air limbah di sebelah utara Kali Anyar (IPAL) di daerah Mipitan. Untuk daerah selatan di pintu air Demangan Sangkrah. Kajian akan dilakukan di tempat-tempat gabungan saluran air limbah & Air drainase untuk dapat dipisahkan sistemnya.

➤ Fasilitas pintu air utama ada di Kali Sumber utara Taman Balekambang dan Dam Tirtonadi Gilingan. Pintu Air Tirtonadi berfungsi mengatur air untuk wilayah Solo selatan pada saat terjadi banjir.

➤ Sampah Padat dilakukan dengan angkutan truk secara periodik. Jalur angkutan sampah wilayah Solo Utara melalui jalur jalan utama yang bertemu di jalan Sumpah Pemuda terus sampai TPA Putri Cempo.

4.5.2 Curah Hujan

Faktor curah hujan yang tinggi merupakan salah satu faktor utama penyebab banjir. Wilayah Indonesia yang merupakan benua maritim di daerah tropis mempunyai curah hujan yang sangat tinggi. Dengan didominasi oleh adanya awan-awan konvektif dan orografik maka intensitas curah hujan yang terjadi sangat besar. Curah hujan yang tinggi, lereng yang curam di daerah hulu

disertai dengan perubahan ekosistem dari tanaman tahunan atau tanaman keras berakar dalam ke tanaman semusim berakar dangkal mengakibatkan berkurangnya air yang disimpan dalam tanah, memperbesar aliran permukaan serta menyebabkan terjadinya tanah longsor. Curah hujan yang tinggi dalam kurun waktu yang singkat dan tidak dapat diserap tanah akan dilepas sebagai aliran permukaan yang akhirnya menimbulkan banjir.

Tingginya curah hujan dan besarnya koefisien aliran permukaan semakin memicu suatu kawasan rentan terhadap banjir. Hal inilah yang terjadi di Pulau Jawa. Sebagai contoh adalah wilayah Pulau Jawa pada musim penghujan, banjir hampir selalu merupakan masalah yang tidak terelakkan. Kondisi demikian disebabkan potensi air maksimum aliran permukaan dari curah hujan sebagian besar, yaitu 70-75% atau sebesar 141.803 juta m³ /tahun akan menjadi *runoff*, dan hanya 25-30% atau sebesar 47.268 juta m³ /tahun menjadi aliran mantap yang mengalami infiltrasi, perkolasi dan tertahan di tanah, waduk serta daerah konservasi air lainnya (2). Akibatnya pada musim penghujan, *runoff* yang demikian besar sangat berpotensi untuk menjadi banjir dan sebaliknya pada musim kemarau akan rentan terhadap kekeringan. (Sutopo Purwo Nugroho, 2002)

Secara umum sebagian besar DAS Bengawan Solo bagian hulu, memiliki rata-rata intensitas curah hujan antara 27,7 hingga 34,8 mm/tahun. Curah hujan tinggi sebagian besar berada pada wilayah Wonogiri, seperti di Jatipurno yang mencapai 31,3 mm/tahun, Ngadirojo yang mencapai 28,9 mm/tahun (Litbang Balai Penelitian Kehutanan Solo, 2010).

Menurut klasifikasi iklim Koppen, Solo memiliki iklim muson tropis. Sama seperti kota-kota lain di Indonesia, musim hujan di Solo dimulai bulan Oktober hingga Maret namun curah hujan cenderung lebih tinggi pada bulan Desember, sedangkan musim kemarau bulan April hingga September namun curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus. Rata-rata curah hujan di Solo adalah 2.200 mm dan suhu udara relatif konsisten sepanjang tahun, dengan suhu rata-rata 30 °C.

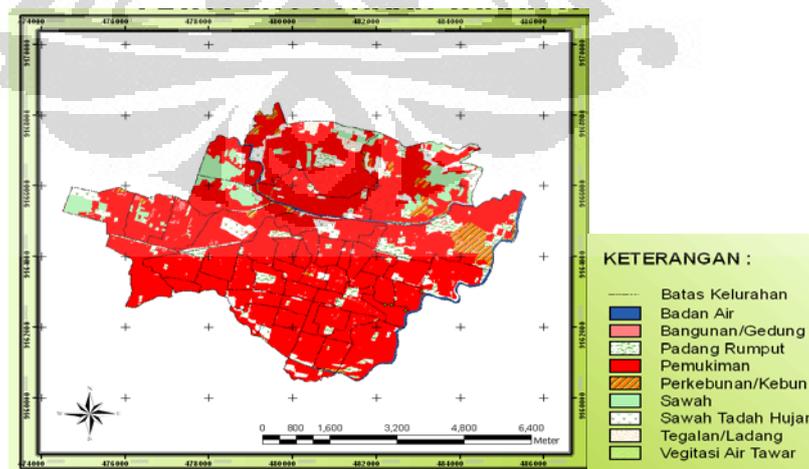
Table 4.2. Data Iklim Kota Solo

Data iklim untuk Solo													
Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Tahun
Rata-rata tertinggi °C (°F)	28.9 (84)	28.9 (84)	29.4 (85)	30.6 (87)	30 (86)	30 (86)	29.4 (85)	30 (86)	30.6 (87)	31.1 (88)	30 (86)	29.4 (85)	30 (86)
Rata-rata terendah °C (°F)	22.2 (72)	22.2 (72)	22.2 (72)	22.2 (72)	22.2 (72)	21.1 (70)	20.6 (69)	20.6 (69)	21.7 (71)	22.2 (72)	22.2 (72)	22.2 (72)	21,7 (71)
Presipitasi mm (inches)	350 (13.78)	330 (12.99)	210 (8.27)	210 (8.27)	120 (4.72)	80 (3.15)	40 (1.57)	20 (0.79)	30 (1.18)	90 (3.54)	220 (8.66)	340 (13.39)	2.180 (85,83)

[Sumber: (www.weatherbase.com)]

4.6 Penggunaan Tanah

Penggunaan tanah Kota Solo didominasi oleh permukiman dan daerah terbangun lainnya seperti bangunan gedung, serta tersebar hampir di seluruh Kota Solo. Sedangkan penggunaan tanah berupa sawah/ladang, perkebunan, dan vegetasi memiliki luasan yang lebih kecil dari daerah terbangun dan tersebar secara acak di beberapa bagian wilayah Kota Solo serta cenderung berada di pinggir kota .



[Sumber : BPN, 2009]

Gambar 4.5. Penggunaan Tanah Kota Solo Tahun 2009

Tabel 4.3. Luasan dan Persentase Penggunaan Tanah Kota Solo

Keterangan	Luas (Ha)	Persentase (%)
Badan Air	59	1.28
Bangunan/Gedung	59	1.28
Padang Rumput	262	5.70
Pemukiman	3557	76.83
Perkebunan/Kebun	139	2.99
Sawah	255	5.50
Sawah Tadah Hujan	264	5.70
Tegalan/Ladang	33	0.72

(Sumber : Pengolahan Data, 2011)

Berdasarkan penelitian dari Akhirudin dan Suharjo diketahui bahwa perubahan penggunaan tanah di Kota Solo dari tahun 1993 sampai 2004 mengalami perubahan sebesar 12%. Perubahan tersebut terjadi di penggunaan tanah industri, tanah kosong, makam, pemukiman, dan tegalan. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan penggunaan tanah di Kota Solo hanya 1% pada tiap tahunnya (Akhirudin dan Suharjo, 2006).

4.7 Masalah Banjir di Kota Solo

Masalah banjir merupakan masalah yang melibatkan banyak aspek dalam kehidupan, terutama masalah perkotaan. Pendekatan multi disiplin meliputi bidang-bidang injiniring dan sosial. Sudut pandang injiniring dalam masalah banjir ini akan memberikan penekanan pengkajian teknis dan falsafah perancangan yang didasarkan pada kendala hidrologi dan hidrolika.

Studi terdahulu yang telah dilakukan BAPPEDA Kota Solo, ada dua jenis banjir yang secara reguiler melanda Kota Solo adalah :

1. Banjir Lokal adalah banjir yang menyebabkan genangan air di berbagai tempat yang mana air sulit mengalir ke saluran pengumpul.

2. Banjir Reguler yang disebabkan naiknya muka air Bengawan Solo yang menghalangi aliran yang masuk dari anak-anak sungai Bengawan Solo tersebut.

Untuk wilayah Surakarta bagian Utara yang terletak di wilayah utara Kali Anyar, lebih bersifat *banjir lokal*.

- Banjir Lokal

Banjir lokal terjadi karena sistem drainase lingkungan yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Ada 2 (dua) hal penyebab tidak berfungsinya sistem drainase (saluran) lingkungan ini adalah :

- Saluran lingkungan yang tidak mengikuti masterplan drainase kota.
- Saluran lingkungan berfungsi ganda sebagai saluran air hujan dan saluran pembuang limbah. Hal ini merupakan penyimpangan terhadap fungsi saluran tersebut.

- Banjir Reguler

Banjir Reguler ini disebabkan meluapnya sungai Bengawan Solo. Studi intensif untuk mengatasi hal ini telah dilakukan dan ada beberapa hal yang perlu dicatat dari hasil studi tersebut :

- Banjir tahunan yang perlu mendapat perhatian adalah banjir dengan periode ulang 5 – 10 tahun.
- Tinggi Muka Air (TMA) banjir 50 tahunan seperti terjadi pada bulan Maret 1966 tercatat mendekati 90.615 m diatas muka air laut. Problem ini telah diatasi oleh Proyek Bengawan Solo (PBS/Upper Solo Improvement Project) dengan dibangunnya waduk Wonogiri, sehingga banjir ini telah dapat dikendalikan (secara macro).

BAB 5

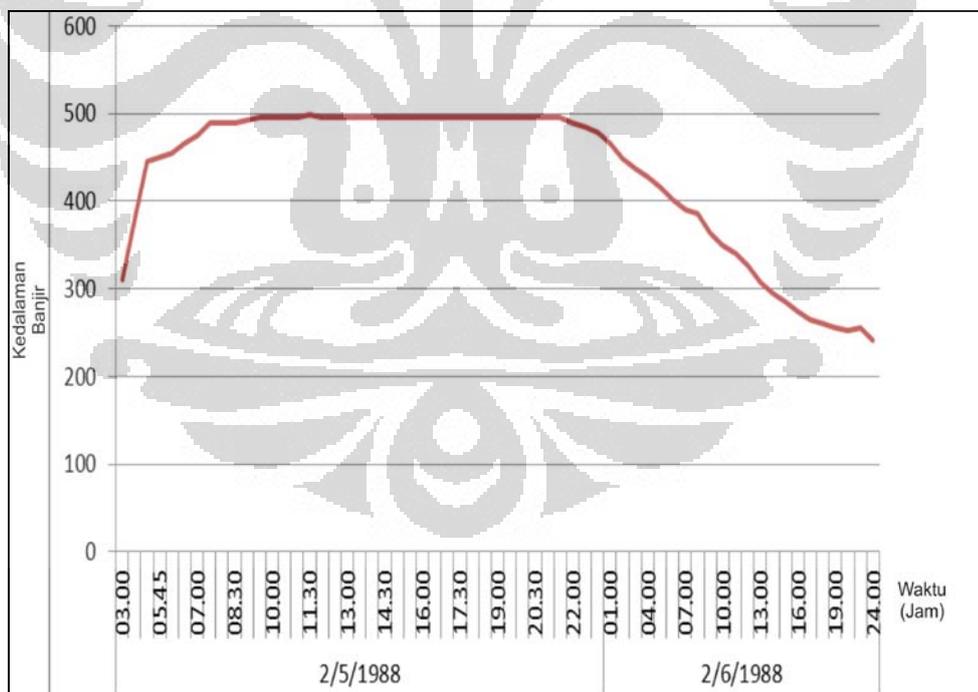
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kejadian Banjir di Kota Solo

Hampir setiap tahun di Kota Solo mengalami kejadian banjir. Tercatat bahwa banjir telah terjadi sejak tahun 1988. Berikut ini adalah pembahasan peristiwa banjir pada tahun 1988, 2007, 2008, dan 2009.

5.1.1 Banjir Tahun 1988

Pada tahun 1988 terjadi banjir di Kota Solo pada tanggal 5 dan 6 februari. Kedalaman banjir di lokasi pengamatan tinggi air mengalami peningkatan yang drastis mulai pukul 03.00 dan mulai surut pada pukul 12.00. Ketinggian air maksimum adalah 4.98 m. (Gambar 5.1)

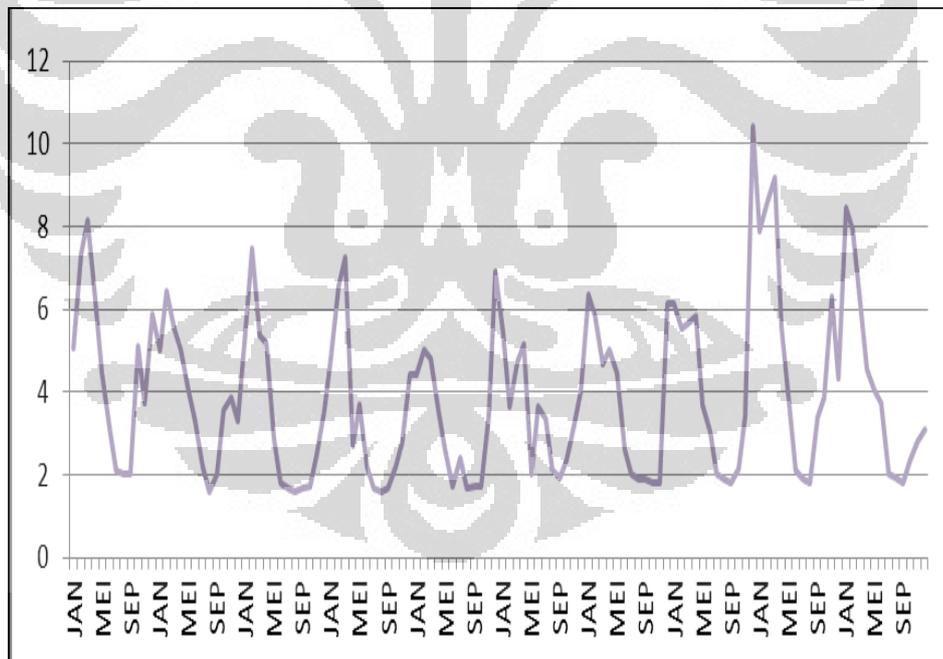


Gambar 5.1. Fluktuasi Ketinggian Banjir Februari 1988 di Kota Solo

5.1.2 Banjir tahun 2007

Pada tahun 2007 Kota Solo mengalami banjir terbesar, banjir terjadi selama lebih dari 3 hari. Banjir pada tahun 2007 juga meliputi beberapa kelurahan di Kota Solo terutama yang berada di sepadan Bengawan Solo seperti Pucang Sawit, joyosuran, Joyotakan, Kampung Sewu, Sangkrah, bahkan mencapai pusat kota seperti kelurahan Gladag. Banjir ini disebabkan oleh tingginya curah hujan yang terjadi di Kota Solo dan tinggi muka air Bengawan Solo yang meningkat drastis. Peningkatan tinggi muka air Bengawan Solo disebabkan karena dibukanya pintu air di bendungan wonogiri (Waduk Gajah Mungkur) untuk mengurangi beban pada bendungan tersebut.

Pada stasiun pengamatan tinggi muka air Jurug mencatat bahwa tanggal 26 Desember 2007 muka air mengalami ketinggian maksimum sejak tahun 2000 hingga 2009 yaitu sebesar 10,43 m. (Gambar 5.2)



Gambar 5.2. Tinggi Muka Air Sungai Maksimum Bulanan Tahun 2000 - 2009 Stasiun Jurug Kota Solo

Pengukuran curah hujan di stasiun hujan Pabelan juga menunjukkan angka yang tinggi pada tanggal 26 Desember 2007 yaitu 133mm. Banjir pada tahun 2007 ini terjadi pada tanggal 25 Desember hingga 31 Desember dan mulai surut pada tanggal 1 Januari 2008. Kedalaman banjir rata-rata terbesar terjadi pada tanggal 28 Desember. (Tabel 5.1)

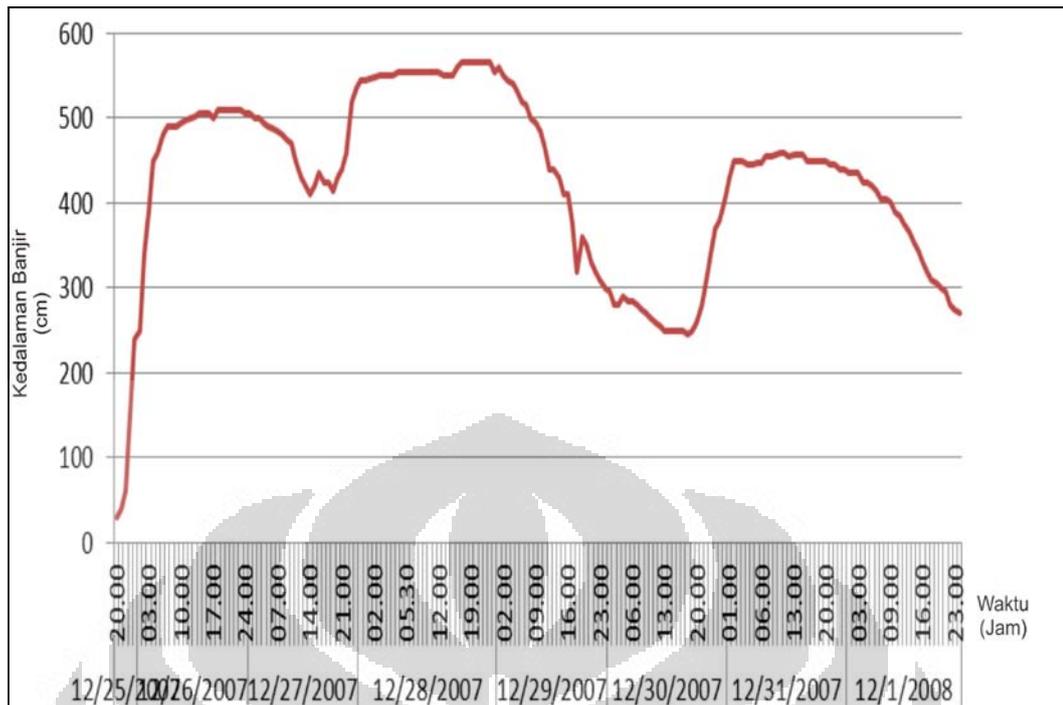
Tabel 5.1. Tinggi Genangan, Curah Hujan, dan Tinggi Muka Air Sungai Pada Kejadian Banjir Tahun 2007

Tanggal	Ch (mm)	Tinggi muka air B.Solo (cm)	Tinggi Genangan rata-rata (cm)*
12/25/2007	2	206	104.00
12/26/2007	133	1043	475.58
12/27/2007	5	833	462.67
12/28/2007	111	943	555.17
12/29/2007	24.5	770	437.50
12/30/2007	0	612	285.00
12/31/2007	50	903	450.00
1/1/2008	3	730	371.96

[Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 2007]

*Tinggi genangan rata-rata harian

Kejadian banjir tahun 2007 berawal pada pukul 22.00 tanggal 25 Desember ditandai dengan peningkatan secara signifikan tinggi muka air di stasiun pengukuran. Dalam waktu 2 jam ketinggian muka air meningkat sebesar 1,8 m. peningkatan tersebut terus terjadi hingga pukul 18.00 tanggal 26 Desember mencapai angka 5,1 m kemudian surut mencapai 4,1 m pada pukul 14.00 pada tanggal 27 Desember. Ketinggian muka air tidak berlanjut menyurut tetapi meningkat hingga mencapai tinggi puncak yaitu 5,65 m pada pukul 17.00 tanggal 28 Desember. Penurunan dan peningkatan tinggi muka air terjadi kembali hingga pukul 10.00 pada tanggal 31 Desember, kemudian berangsur-angsur surut. (Gambar 5.3)



Gambar 5.3. Fluktuasi Kedalaman Banjir Desember 2007

5.1.3 Banjir tahun 2008

Pada tahun 2008 terjadi peningkatan frekuensi kejadian banjir di Kota Solo. Kota Solo pada tahun 2008 tercatat 3 kali terjadi banjir yaitu tanggal 4 dan 5 Februari, 8 dan 9 Maret, serta 21 hingga 23 Maret.

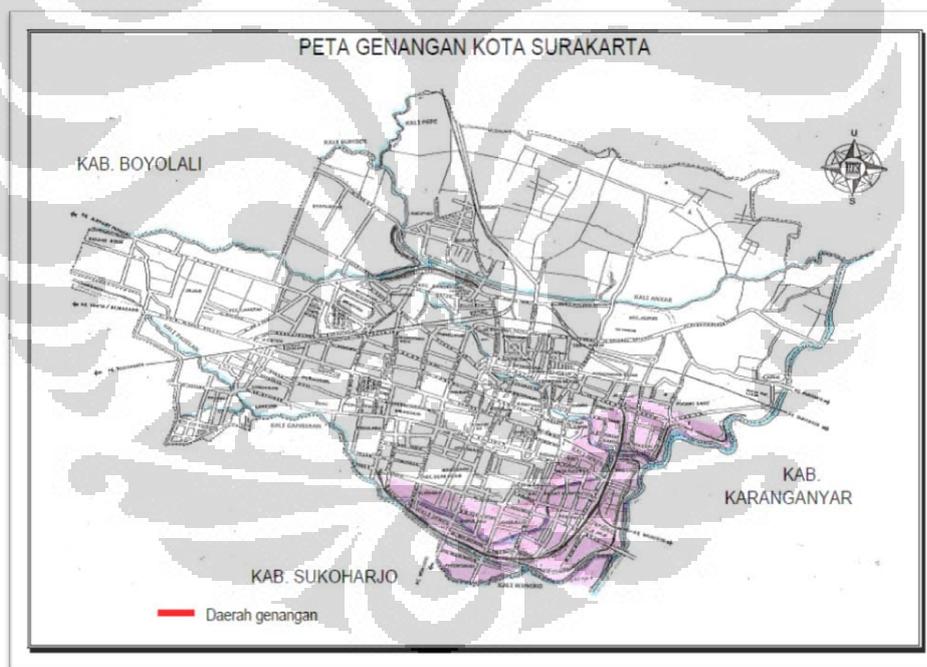
Pada tanggal 4 dan 5 Februari kedalaman banjir terbesar adalah pada pukul 22.30 tanggal 4 Februari yaitu sebesar 4 m. Proses surutnya banjir ini terjadi selama 2 hari namun tidak mengalami fluktuasi yang besar dan cenderung surut secara perlahan. Pada kejadian ini tinggi muka air Bengawan Solo menunjukkan angka 7,77 m dan curah hujan di stasiun hujan menunjukkan angka 77 mm. (Tabel 5.2 dan Gambar 5.5)

Tabel 5.2. Tinggi Genangan, Curah Hujan, dan Tinggi Muka Air Sungai Pada Kejadian Banjir Tahun 2008

Tanggal	Ch (mm)	Tinggi muka air B.Solo (cm)	Tinggi Genangan (cm)*
2/4/2008	18	523	327.08
2/5/2008	77	777	364.38
3/8/2008	1	390	220.56
3/9/2008	29	672	335.38
3/21/2008	79	610	343.13
3/22/2008	26	723	353.00
3/23/2008	12	570	178.17

[Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 2008]

*Tinggi genangan rata-rata harian

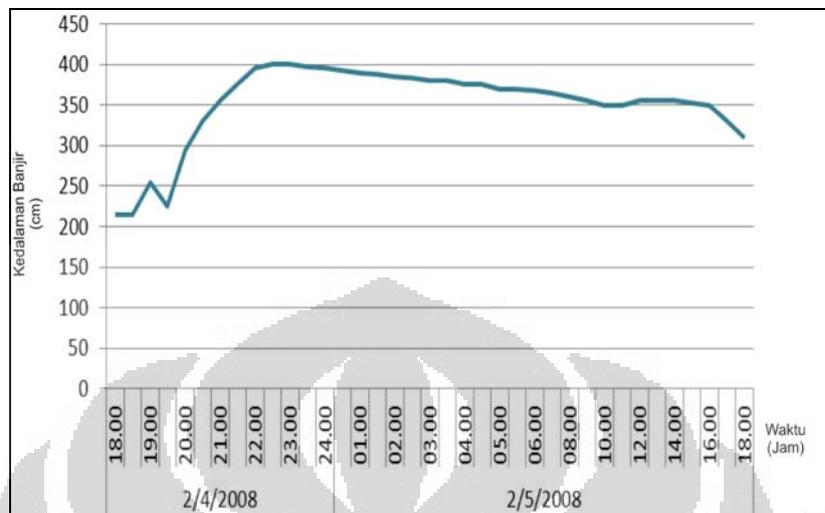


[Sumber : BBWS Bengawan Solo, 2008]

Gambar 5.4. Wilayah Banjir Kota Solo Tahun 2008

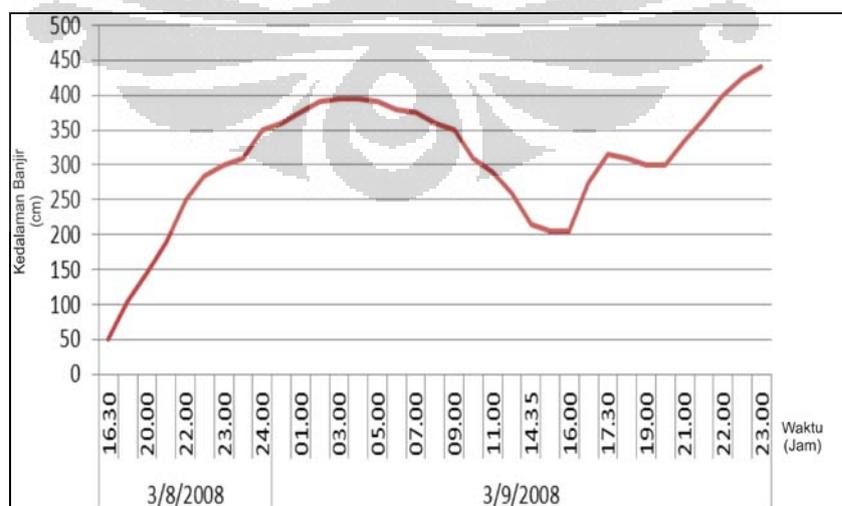
Berdasarkan gambar wilayah banjir Kota Solo tahun 2008 dapat terlihat bahwa wilayah Kota Solo yang terendam banjir berada di bagian selatan kota yang berbatasan langsung dengan aliran Bengawan Solo. Kelurahan yang

tergenang pada tahun 2008 meliputi kelurahan-kelurahan di bantaran Bengawan Solo seperti Sangkrah, Semanggi, Joyosuran, Kampung Sewu, dan Pucang Sawit.



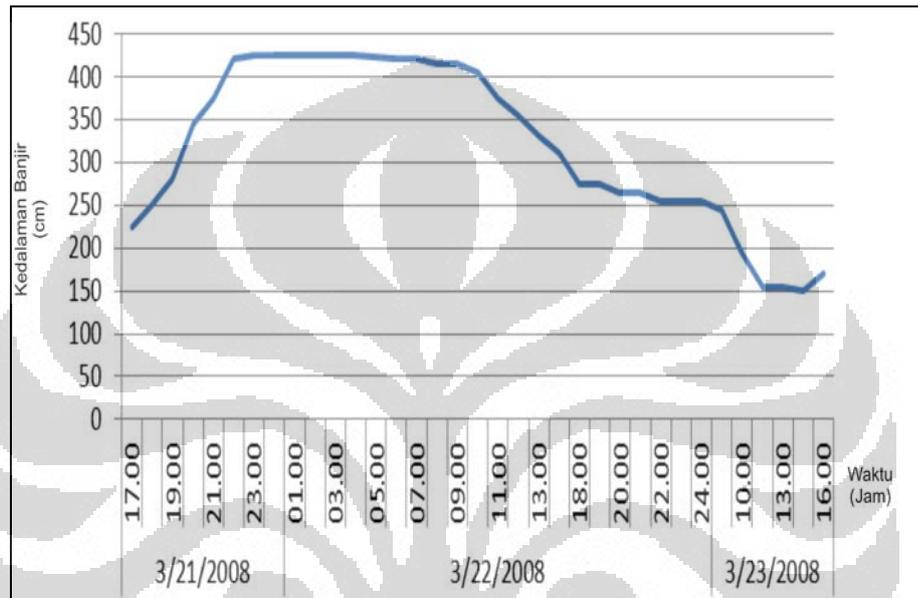
Gambar 5.5. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 4 Dan 5 Februari 2008

Pada tanggal 8 dan 9 Maret kedalaman banjir terbesar yang tercatat adalah pada pukul 23.00 tanggal 9 Maret yaitu sebesar 4,4 m. fluktuasi yang terjadi pada banjir tanggal 8 dan 9 Maret ini mengalami peningkatan dari pukul 16.30 tanggal 8 sampai 03.00 tanggal 9 kemudian menyusut dan meningkat kembali pada pukul 17.00 dan terus meningkat hingga ketinggian muka air 4,4 m, namun pencatatan terhenti sampai saat itu. (Gambar 5.6)



Gambar 5.6. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 8 Dan 9 Maret 2008

Pada tanggal 21 sampai 23 Maret kedalaman banjir terbesar yang tercatat adalah pada pukul 23.00 tanggal 21 Maret yaitu sebesar 4,25 m. fluktuasi yang terjadi pada banjir tanggal 21 sampai 23 Maret ini mengalami peningkatan drastis, pertambahan tinggi permukaan air naik setinggi 2 m dalam waktu 6 jam yaitu dari pukul 17.00 sampai 23.00. penyurutan terjadi secara perlahan dalam jangka waktu lebih dari 24 jam (1 hari). (Gambar 5.7)



Gambar 5.7. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 21 Sampai 23 Maret 2008

5.1.4 Banjir tahun 2009

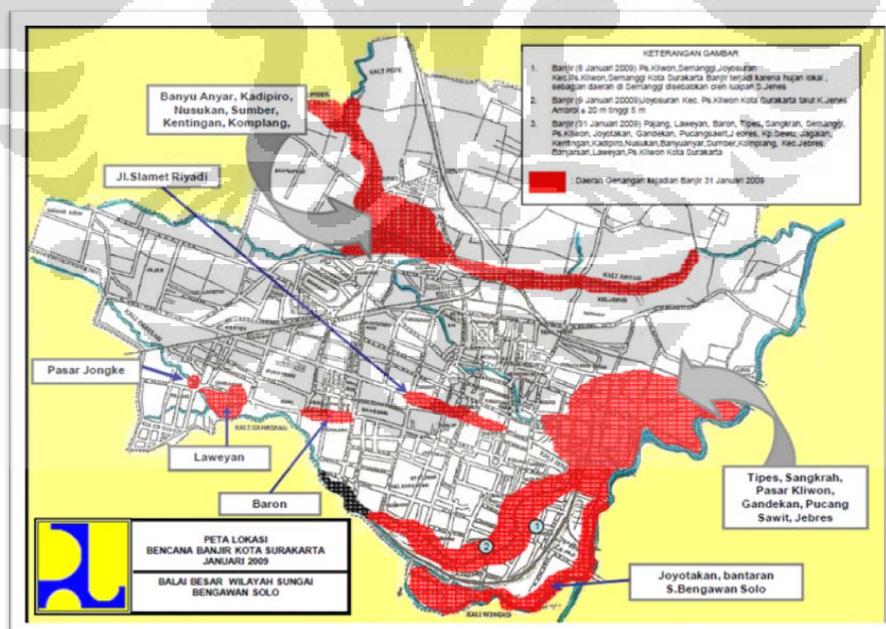
Pada tahun 2009 Kota Solo mengalami kejadian banjir sebanyak 3 kali, yaitu pada tanggal 30 dan 31 Januari, 18 Februari, serta tanggal 25 dan 26 Februari. Kejadian banjir secara mendadak dan tidak disangka juga terjadi pada tahun 2009 yaitu pada tanggal 9 Januari disebabkan oleh jebolnya tanggul Kali Pepe. Pada saat itu tercatat curah hujan di stasiun hujan Pabelan sebesar 71 mm dan tinggi muka air Bengawan Solo 4,88 m.

Tabel 5.3. Tinggi Genangan, Curah Hujan, dan Tinggi Muka Air Sungai Pada Kejadian Banjir Tahun 2009

Tanggal	Ch (mm)	Tinggi muka air B.Solo (cm)	Tinggi Genangan (cm)*
1/30/2009	24	426	356.80
1/31/2009	142	843	418.77
2/18/2009	50	792	349.27
2/25/2009	29.5	590	325.50
2/26/2009	68	617	353.40

[Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 2009] *Tinggi genangan rata-rata harian

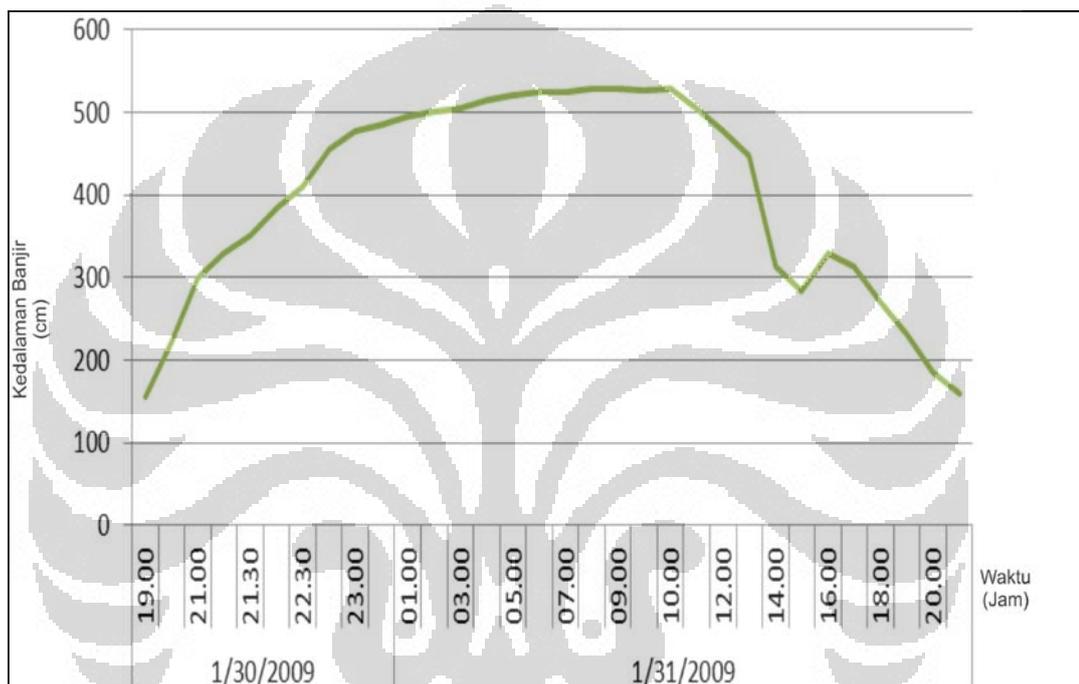
Berdasarkan gambar wilayah banjir Kota Solo tahun 2009 dapat terlihat bahwa wilayah Kota Solo yang terendam banjir berada di sepadan sungai yaitu kali pepe dan bengawan solo di bagian selatan kota serta kali anyar. Kelurahan yang tergenang pada tahun 2009 meliputi kelurahan Sangkrah, Semanggi, Joyosuran, Kampung Sewu, Pucang Sawit, Sumber, kentingan, dan Nusukan.



[Sumber : BBWS Bengawan Solo, 2009]

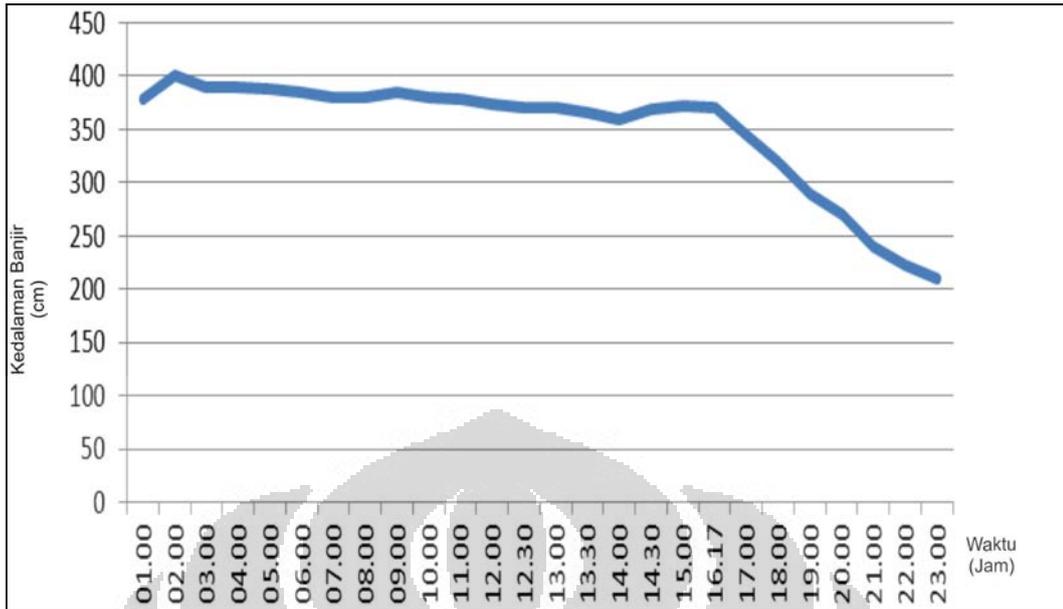
Gambar 5.8. Wilayah Banjir Kota Solo Tahun 2009

Kedalaman banjir pada tanggal 30 dan 31 Januari memiliki nilai maksimum sebesar 5,29 yaitu pada pukul 09.00 tanggal 31 Januari. Kejadian banjir ini di mulai pada pukul 19.00 tanggal 30 dan terus-menerus naik hingga mencapai kedalaman banjir puncak dan turun sehingga membentuk kurva parabola. Bentuk kurva parabola tersebut tidak sempurna karena pada pukul 16.00 tanggal 31 Januari terjadi kenaikan kedalaman banjir menjadi 3,3 dari 2,84 m pada satu jam sebelumnya. (Gambar 5.9)



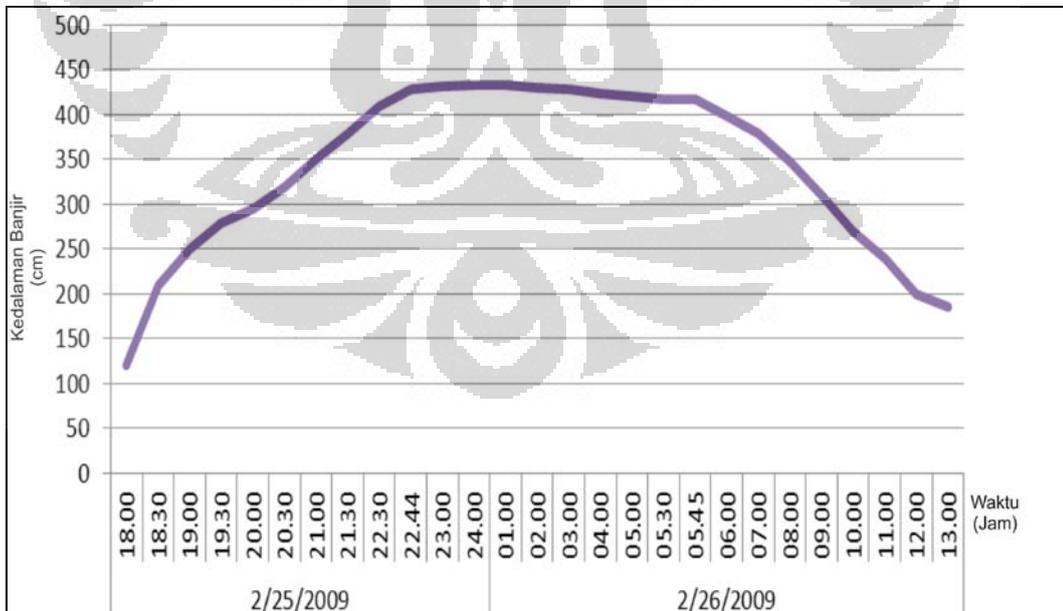
Gambar 5.9. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Januari 2009

Pada tanggal 18 Februari terjadi peristiwa banjir dengan proses penyurutan air yang cukup lama yaitu 1 hari. Identifikasi awal kejadian banjir pada tanggal 18 ini tidak dapat dilakukan karena pencatatan dimulai ketika stasiun pantau tinggi muka air sangkrah menunjukkan angka 3,78m, yaitu pada pukul 01.00.



Gambar 5.10. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada 18 Februari 2009

Peristiwa banjir yang terjadi pada tanggal 25 dan 26 Februari membentuk seperti sebuah kurva parabola dengan puncak ketinggian muka air di stasiun pengamatan sebesar 4,33 m pada pukul 24.00 tanggal 25 Februari sampai pukul 01.00 tanggal 26 Februari.



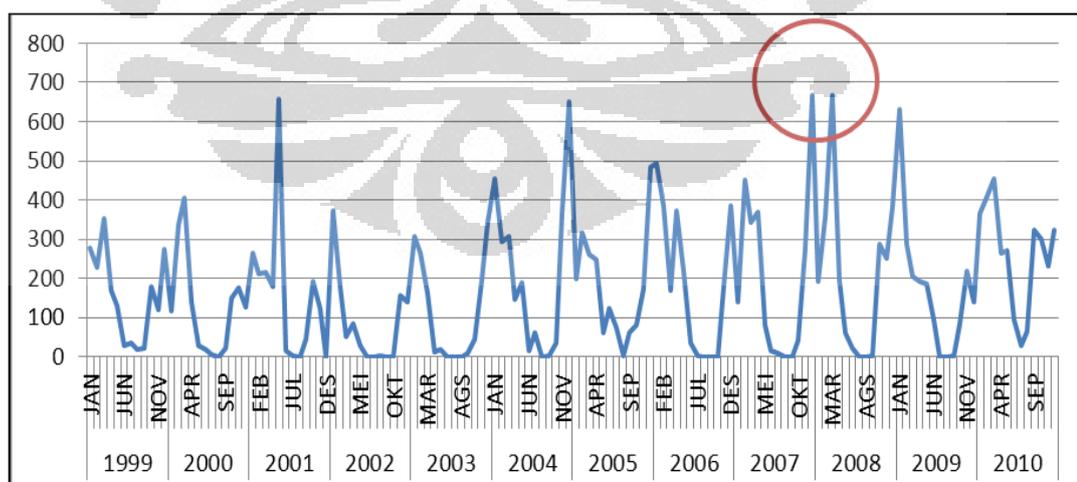
Gambar 5.11. Fluktuasi Kedalaman Banjir pada Tanggal 25 Dan 26 Maret 2009

5.1.5 Perbandingan Kejadian Banjir di Kota Solo Antara Tahun 1988, 2007, 2008, dan 2009

Table 5.4. Perbandingan Kejadian Banjir Tahun 1988, 2007,2008, dan 2009

Tahun	Kedalaman banjir Maksimum	Lama kejadian	Jumlah Kejadian
1988	4,98 m	2 hari	1
2007	5,65 m	3-4 hari	1
2008	4,4 m	2-3 hari	3
2009	4.33 m	1-3 hari	4

Dari tabel perbandingan di atas dapat terlihat bahwa peristiwa banjir terbesar terjadi pada tahun 2007, banjir tersebut berlangsung selama 3 sampai 4 hari dan memiliki kedalaman maksimum 5,65m. Hal ini disebabkan karena musim hujan yang berkepanjangan sehingga meningkatkan tinggi muka air Bengawan Solo dan ditambah dengan tingginya curah hujan yang terjadi di wilayah Kota Solo sendiri. Pada grafik curah hujan di stasiun Pabelan 10 tahun terakhir juga terlihat pada akhir tahun 2007 dan awal tahun 2008 memiliki 2 puncak nilai curah hujan yang berdekatan. Frekuensi kejadian banjir cenderung meningkat dari tahun 2007 sampai tahun 2009.



Gambar 5.12. Curah Hujan Tahun 1999 Sampai 2010 di Stasiun Pabelan.

5.1.6 Prediksi Banjir 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 Tahunan

Dalam penentuan prediksi banjir di Kota Solo, model banjir digabungkan dengan perhitungan tinggi muka air sungai rencana/rancangan. Perhitungan tinggi muka air sungai rencana dapat dilakukan dengan menggunakan rumus Log Pearson Tipe III, rumus tersebut juga dapat digunakan untuk menentukan curah hujan dan debit rencana/rancangan, dengan rumus :

$$\text{Log } X = \text{Log } X_{\text{rata-rata}} + G \cdot S_d$$

$$S_d = \sqrt{\sum(\text{Log } X_i - \text{Log } X_{\text{rata-rata}})^2 / n-1}$$

$$\text{Log } X_{\text{rata-rata}} = \sum \text{Log } X_i / n$$

Bedasarkan data tinggi muka air Bengawan Solo dari tahun 2000 sampai 2008 diperoleh hasil perhitungan prediksi tinggi muka air sebagai berikut.

Tabel 5.5. Tinggi Muka Air Prediksi Tiap Periode Ulang

Periode Ulang (Tahun)	G Tabel*	Tinggi muka air prediksi
2	-0,042	7,32
5	0,827	8,70
10	1,305	9,57
25	1,835	10,63
50	2,188	11,40
100	2,635	12,46

(Sumber : Pengolahan Data, 2011) *Selo Bhuwono Kahar, 2009

Tabel 5.8 menunjukkan hasil perhitungan prediksi tinggi muka air dengan menggunakan rumus Log Pearson. Terlihat pada tabel, tinggi muka air menunjukkan angka 7,32 m dalam periode 2 tahun dan dalam periode 5 tahun tinggi muka air bertambah menjadi 8,70 m. Tinggi muka air dalam periode 10 tahun sebesar 9,57 m dan bertambah sebesar 1,06 m menjadi 10,63 m pada periode 25 tahun. Pada periode 50 tahun prediksi tinggi muka air di Kota Solo sebesar 11,40 m dan pada periode 100 tahun ketinggian muka air menjadi 12,46m.

5.2 Pemodelan Wilayah Banjir di Kota Solo

Pemodelan wilayah banjir diawali dengan melakukan pengolahan data statistik menggunakan rumus regresi linier berganda lalu dispasialkan dengan memasukkan rumus regresi pada tiap grid. Sebelum melakukan perhitungan regresi linear berganda perlu dilakukan uji korelasi terlebih dahulu.

Tabel 5.6. Korelasi Antar Variabel

	Kedalaman Banjir	Tinggi Muka Air Sungai	Curah Hujan	Koefisien Limpasan	Ketinggian Tempat
Kedalaman Banjir					
Pearson Correlation		.863	.561	.083	-.888
Sig.		.000	.010	.728	.000
N		20	20	20	20
Tinggi Muka Air Sungai					
Pearson Correlation	.863		.610	-.080	.410
Sig.	.000		.004	.736	.073
N	20		20	20	20
Curah Hujan					
Pearson Correlation	.561	.610		-.062	.568
Sig.	.010	.004		.789	.009
N	20	20		20	20
Koefisien Limpasan					
Pearson Correlation	.083	-.080	-.062		-.176
Sig.	.728	.736	.789		.458
N	20	20	20		20
Ketinggian Tempat					
Pearson Correlation	-.888	.410	.568	-.176	
Sig.	.000	.073	.009	.458	
N	20	20	20	20	

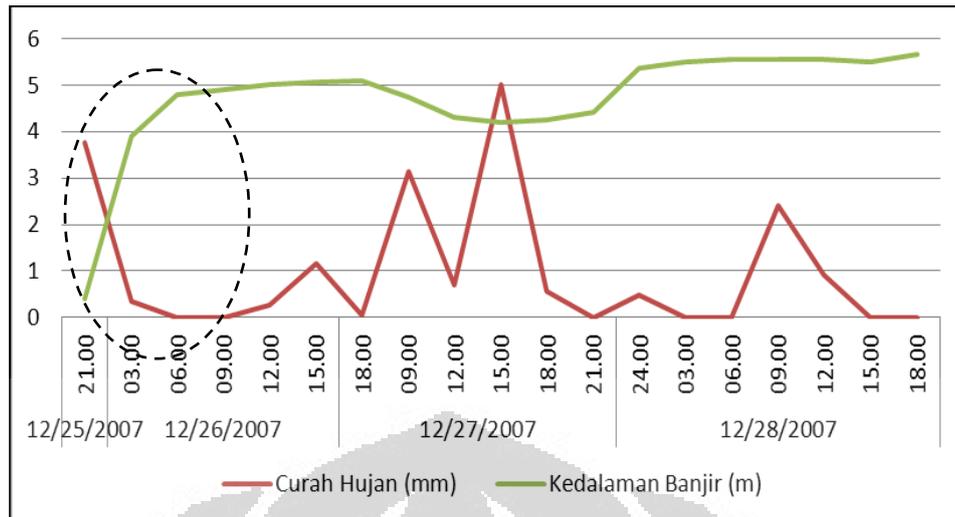
Signifikan pada taraf 0.01
 Signifikan pada taraf 0.05
 (Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel korelasi antara kedalaman banjir dan tinggi lokasi didapatkan nilai signifikansi sebesar 0.00, hal ini menunjukkan bahwa antara kedalaman banjir dan tinggi lokasi memiliki keterkaitan (dengan taraf kepercayaan 0,01). Nilai korelasi (r) antara kedua variabel adalah sebesar 0,888 yang berarti tinggi lokasi memiliki pengaruh yang cukup besar yaitu 78,8% terhadap kedalaman banjir, sedangkan tanda negatif (-) pada nilai korelasi memiliki arti kedalaman banjir berbanding terbalik dengan tinggi lokasi.

Berdasarkan tabel korelasi antara kedalaman banjir dan tinggi muka air Bengawan Solo didapatkan nilai signifikansi sebesar 0.00, hal ini menunjukkan bahwa antara kedalaman banjir dan tinggi muka air Bengawan Solo memiliki keterkaitan (dengan taraf kepercayaan 0,01). Nilai korelasi (r) antara kedua variabel adalah sebesar 0,863 yang berarti tinggi muka air Bengawan Solo memiliki pengaruh sebesar 74,5% terhadap kedalaman banjir, sedangkan tanda positif (+) pada nilai korelasi memiliki arti kedalaman banjir berbanding lurus dengan tinggi muka air Bengawan Solo.

Berdasarkan tabel korelasi antara kedalaman banjir dan curah hujan didapatkan nilai signifikansi sebesar 0.01, hal ini menunjukkan bahwa antara kedalaman banjir dan tinggi muka air Bengawan Solo memiliki keterkaitan (dengan taraf kepercayaan 0,05). Nilai korelasi (r) antara kedua variabel adalah sebesar 0,561 yang berarti curah hujan memiliki pengaruh yang tidak terlalu besar yaitu 31,5% terhadap kedalaman banjir, sedangkan tanda positif (+) pada nilai korelasi memiliki arti kedalaman banjir berbanding lurus dengan curah hujan.

Tidak kuatnya hubungan antara curah hujan dengan kedalaman banjir disebabkan karena curah hujan tidak berpengaruh langsung terhadap kedalaman banjir, dapat dilihat dari gambar 5.12 perbandingan antara curah hujan dan kedalaman banjir bahwa kedalaman banjir meningkat beberapa saat setelah hujan terjadi. Hal tersebut juga dapat diibaratkan apabila terjadi hujan pada pukul 21.00 kemungkinan terjadi banjir adalah 2 atau 3 jam setelah hujan, tidak pada waktu yang sama dengan turunnya hujan.



Gambar 5.13. Perbandingan Curah Hujan dengan Kedalaman Banjir

Terjadi kokorelasi antara 2 variabel bebas yaitu curah hujan dengan ketinggian tempat dan curah hujan dengan tinggi muka air sungai sehingga curah hujan tidak dapat dijadikan variabel untuk dimodelkan dengan menggunakan regresi linier. Variabel yang dapat dimodelkan menggunakan regresi linier dalam penelitian ini hanya tinggi muka air sungai dan ketinggian tempat karena koefisien limpasan rata-rata tidak berkorelasi dengan variabel terikat (kedalaman banjir).

Perhitungan analisis regresi linier dengan menggunakan *software* SPSS 17 menunjukkan bahwa hasil dari nilai signifikansi x_2 (tinggi muka air sungai) sebesar 0,000 sehingga sudah cukup bukti untuk menyatakan bahwa variabel tinggi muka air sungai berpengaruh terhadap kedalaman banjir dengan taraf (0,05). Nilai signifikansi untuk x_4 (ketinggian tempat) sebesar 0,000 dan terbukti bahwa tinggi tempat berpengaruh terhadap kedalaman genangan untuk taraf kepercayaan 0,05.

Tabel 5.7. Output SPSS Regresi Linier Berganda

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
Model		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2123.699	172.834		12.288	.000
	tmas b.solo	28.492	5.571	.474	5.115	.000
	tinggi lokasi	-26.525	2.414	-1.019	-10.988	.000

a. Dependent Variable: rata2 t dlm

Koefisien dari tinggi muka air sungai dan ketinggian tempat adalah sebesar 28,492 dan -26,525 dan konstanta sebesar 2123,699, sehingga didapat persamaan analisis regresi linier :

$$y = 2123,699 + 28,492 x_2 - 26,525 x_4$$

Apabila model regresi dimasukkan ke dalam tiap grid maka dapat terbentuk wilayah banjir serta kedalamannya. Kondisi banjir di Kota Solo mulai terjadi pada saat tinggi muka air Bengawan Solo menunjukkan angka 6 m. Selanjutnya akan digambarkan kondisi kedalaman dan wilayah banjir pada setiap tinggi muka air Bengawan Solo (interval 0,5m).

5.3 Kondisi Banjir Menurut Tinggian Muka Air Bengawan Solo

Tabel 5.7 menunjukkan bahwa wilayah banjir semakin meluas sesuai dengan pertambahan tinggi muka air Bengawan Solo. Berikut ini akan dijelaskan lebih mendalam kondisi banjir di Kota Solo pada tiap kondisi tinggi muka air Bengawan Solo.

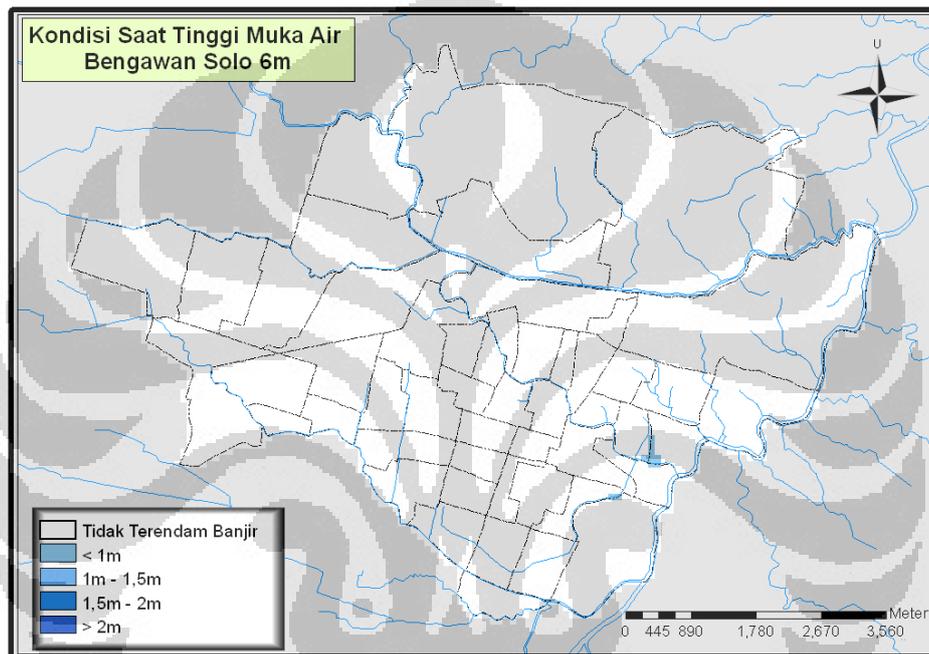
Tabel 5.8. Luas Wilayah Banjir Menurut Tinggi Muka Air Bengawan Solo dan Kedalaman Banjir

Tinggi muka air Bengawan Solo	Luas wilayah banjir (Ha)			Luas Wilayah Banjir	Tidak Banjir (Ha)
	0,5m-1m	1m-1,5m	1,5m-2cm		
6m	25	0	0	25	4818
6,5m	41	0	0	41	4802
7m	41	0	0	41	4802
7,5m	99	25	0	124	4719
8m	99	25	0	124	4719
8,5m	217	41	0	258	4585
9m	217	15	25	258	4585
9,5m	268	99	25	392	4451
10m	134	217	41	392	4451
10,5m	475	217	41	733	4110

(Sumber: Pengolahan Data, 2011)

1. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 6 m

Pada kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 6 m, wilayah yang tergenang banjir berada di perbatasan Kelurahan Gandekan, Kampung Sewu dan Sangkrah dengan kedalaman kurang dari 100 cm. Kemudian dengan kedalaman yang sama banjir juga terjadi di perbatasan antara Pasar Kliwon dan Semanggi (lihat Gambar 5.14).



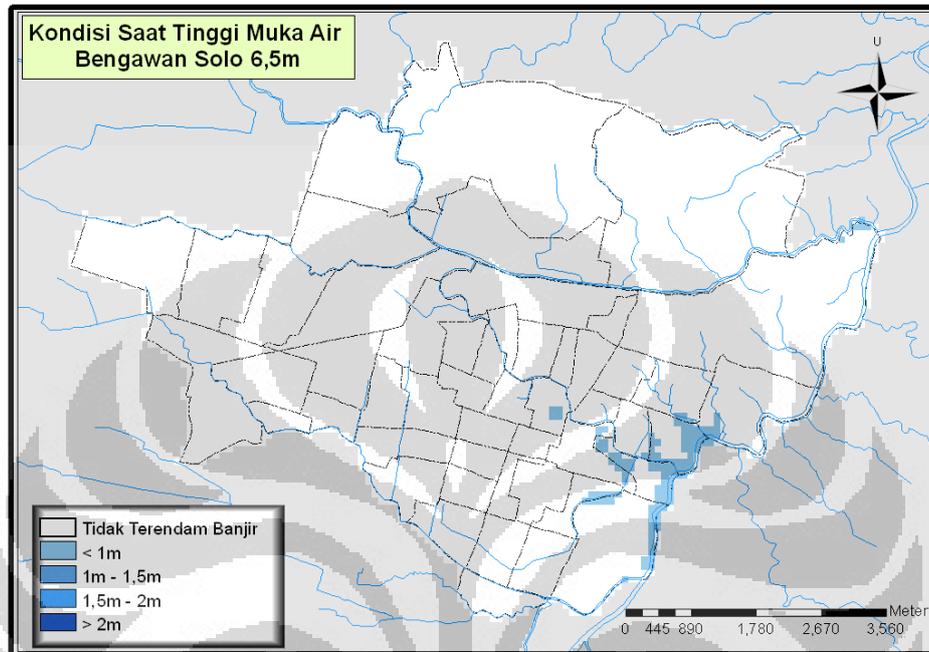
Gambar 5.14. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 6 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm memiliki persentase luasan sebesar 0,52% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo.

2. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 6,5 m

Pada kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 6,5 m, wilayah yang tergenang banjir berada di sepanjang bantaran Bengawan Solo yaitu melewati kelurahan Semanggi, Kampung Sewu, Pucang Sawit dan Sangkrah

dengan kedalaman kurang dari 100 cm. Banjir juga terjadi di Kelurahan Pasar Kliwondan sedikit di kelurahan Kedunglumbu dengan kedalaman banjir (lihat Gambar 5.15).



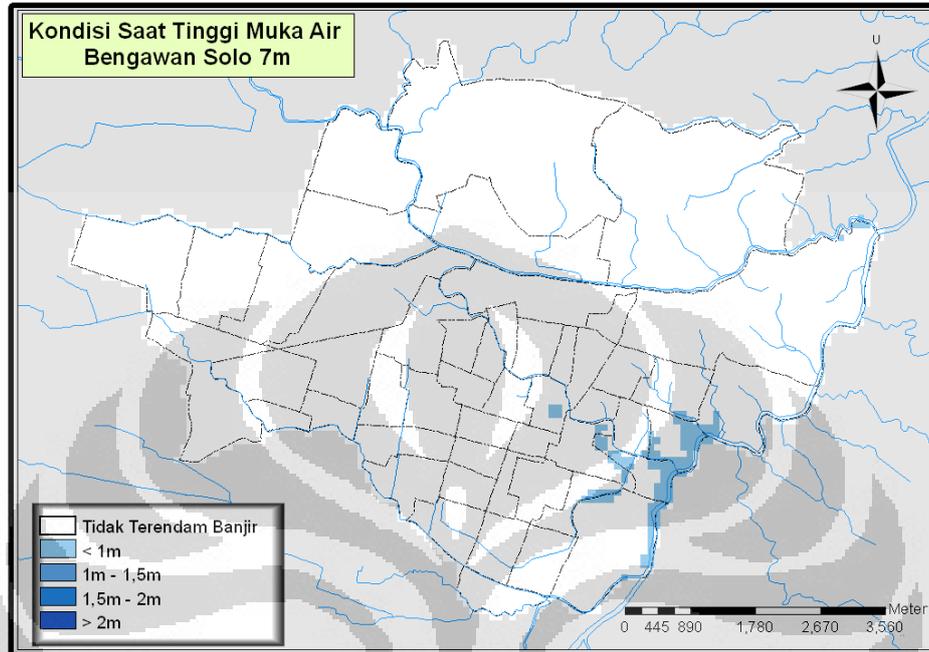
Gambar 5.15. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 6,5 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm bertambah luasannya, yaitu dengan persentase luasan sebesar 0,84% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo.

3. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 7 m

Pada kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 7 m, wilayah yang tergenang banjir tidak berbeda dengan kondisi saat tinggi muka air Bengawan Solo 6,5m yaitu berada di sepanjang bantaran Bengawan Solo yaitu melewati kelurahan Semanggi, Kampung Sewu, Pucang Sawit dan Sangkrah

dengan kedalaman kurang dari 100 cm. Banjir juga terjadi di Kelurahan Pasar Kliwondan sedikit di kelurahan Kedunglumbu dengan kedalaman banjir



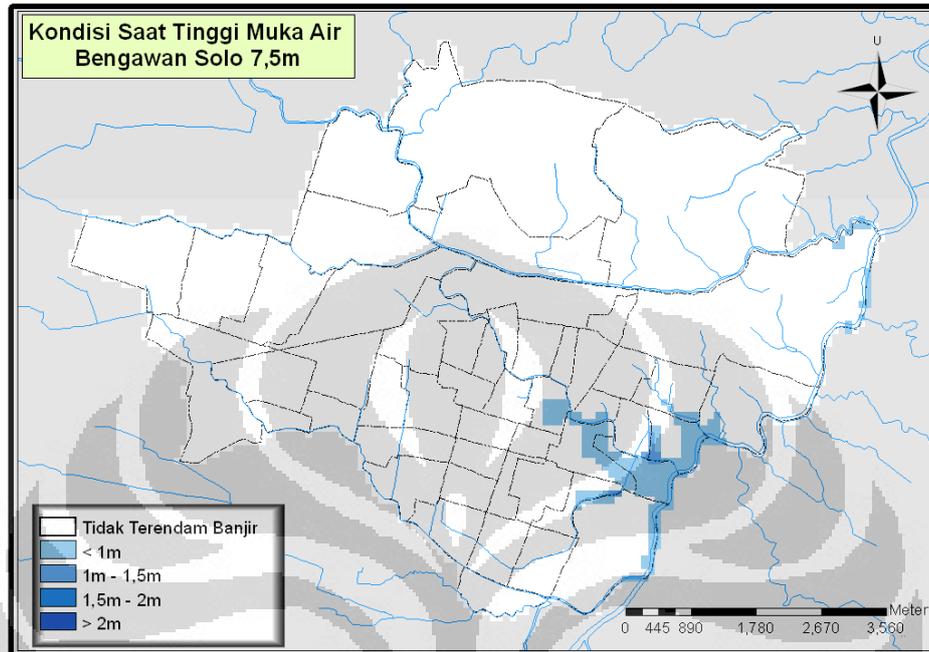
Gambar 5.16. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 7 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm bertambah luasannya, yaitu dengan persentase luasan sebesar 0,84% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo.

4. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 7,5 m

Saat kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 7,5 m, wilayah yang tergenang banjir berada di sepanjang bantaran Bengawan Solo yaitu melewati kelurahan Semanggi, Kampung Sewu, Pucang Sawit dan Sangkrah dengan kedalaman kurang dari 100 cm, sedangkan di wilayah perbatasan Kelurahan Sewu, Sangkrah, dan Gandekan memiliki kedalaman banjir 100 sampai 150 cm. Banjir juga terjadi di Kelurahan Pasar Kliwon, Kedunglumbu,

Sudiroprajan dan Kampung Baru (sepanjang bantaran Kali Pepe) dengan kedalaman banjir kurang dari 100 cm (lihat Gambar 5.17).



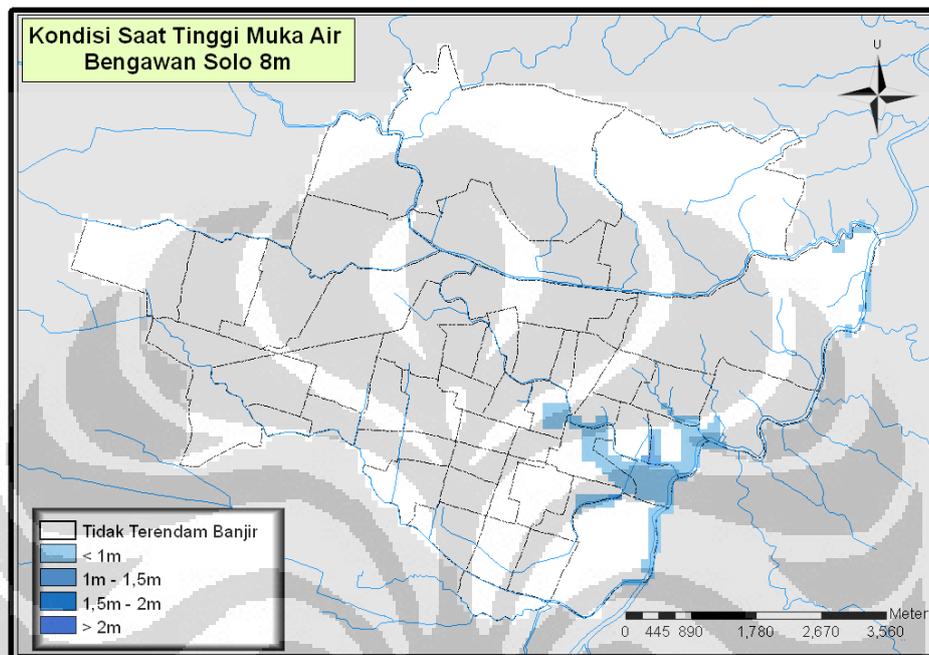
Gambar 5.17. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 7,5 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm bertambah luasannya, yaitu dengan persentase luasan sebesar 2,04% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 100 sampai 150 cm memiliki persentase 0,52% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo. Kondisi ini mirip dengan kondisi banjir pada periode 2 tahun.

5. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 8 m

Pada kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 8 m, memiliki sebaran dan kedalaman banjir yang sama dengan kondisi tinggi muka air 7,5 m. Wilayah yang tergenang banjir berada di sepanjang bantaran Bengawan Solo yaitu melewati kelurahan Semanggi, Kampung Sewu, Pucang Sawit dan Sangkrah dengan kurang dari 100 cm, sedangkan di wilayah perbatasan Kelurahan Sewu,

Sangkrah, dan Gandekan memiliki kedalaman banjir 100 sampai 150 cm. Banjir juga terjadi di Kelurahan Pasar Kliwon, Kedunglumbu, Sudiroprajan dan Kampung Baru (sepanjang bantaran Kali Pepe) dengan kedalaman banjir kurang dari 100 cm (lihat Gambar 5.18).

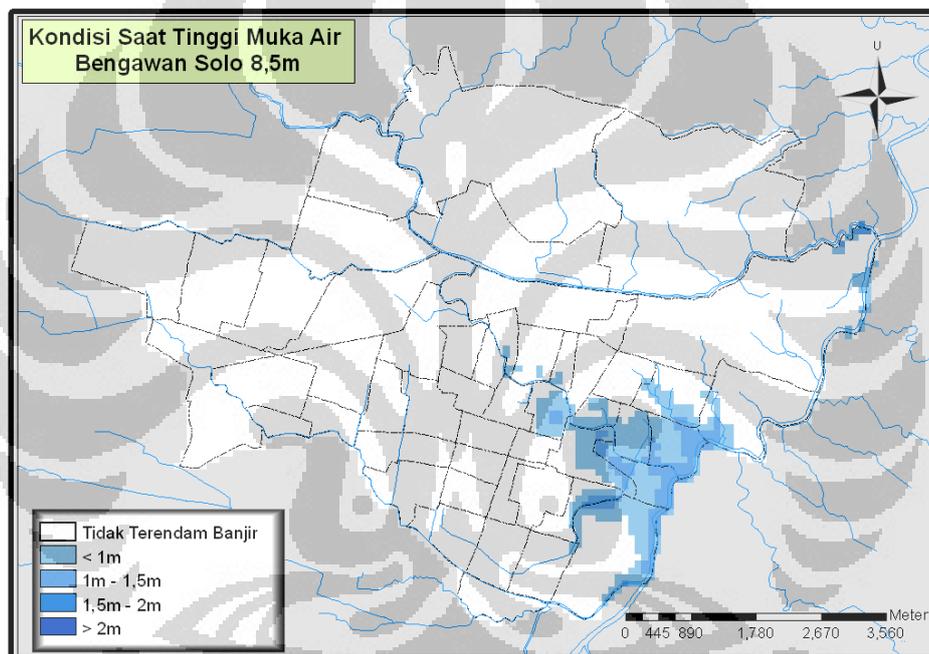


Gambar 5.18. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 8 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm luasannya tetap, yaitu dengan persentase luasan sebesar 2,04% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 100 sampai 150 cm memiliki persentase 0,52% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo .

6. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 8,5 m

Kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 8,5 m merupakan kesamaan dari banjir periode 5 tahunan dimana sebaran wilayah banjir semakin meluas dan wilayah yang sebelumnya tergenang juga semakin dalam. Pada kondisi ini, banjir yang terjadi semakin meluas ke arah barat laut mengikuti aliran Kali Pepe hingga Kelurahan Kestalan. Banjir juga merambah ke aliran saluran Kali Kecing hingga Kelurahan Joyosuran, selain itu banjir juga mencakup Kelurahan Jagalan (lihat Gambar 5.19).

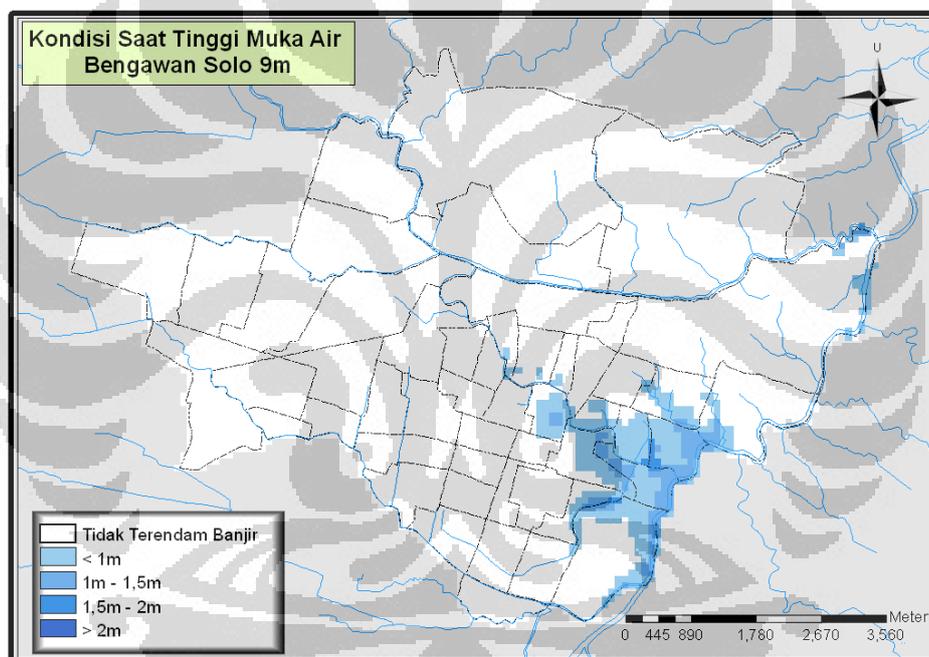


Gambar 5.19. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 8,5 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm bertambah luasannya, yaitu dengan persentase luasan sebesar 4,48% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 100 sampai 150 cm memiliki persentase bertambah pula luasannya sebesar 0,84% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo .

7. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 9 m

Pada kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 9 m, sebaran wilayah banjir semakin meluas. Wilayah yang tergenang semakin meluas ke arah barat laut mengikuti aliran Kali Pepe hingga Kelurahan Kestalan ditambah lagi dengan Kelurahan Jebres di bantaran Bengawan Solo. Wilayah yang terkena banjir di Kecamatan Jebes berada di bantaran Bengawan Solo dan Kali Anyar dengan kedalaman 100 sampai 150cm. Kedalaman banjir di perbatasan Kelurahan Gandekan, Kampung Sewu, dan Sangkrah meningkat yang termasuk dalam kelas kedalaman banjir antara 150 sampai 200 cm (lihat Gambar 5.20).



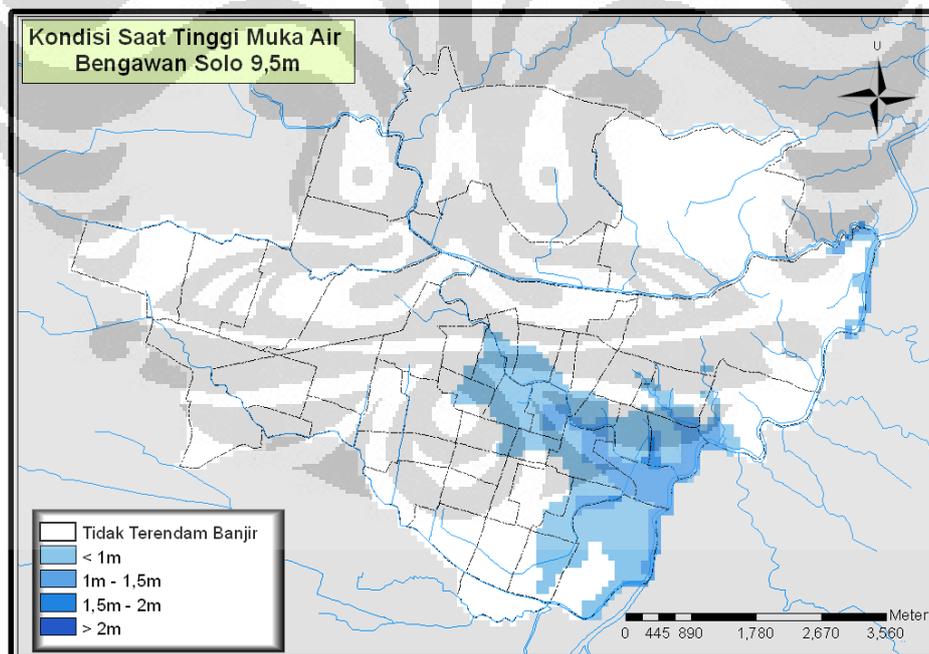
Gambar 5.20. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 9 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang 100 cm bertambah luasannya, yaitu dengan persentase luasan sebesar 2,76% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 100 sampai 150 cm memiliki persentase 2,04% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo. Sedangkan untuk wilayah yang tergenang

banjir dengan kedalaman 150 sampai 200 cm memiliki persentase luasan sebesar 0,52% dari keseluruhan wilayah Kota Solo.

8. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 9,5 m

Kondisi banjir saat tinggi muka air Bengawan Solo 9,5 m mirip dengan kondisi banjir prediksi periode 10 tahunan dimana sebaran wilayah banjir semakin meluas. Wilayah yang tergenang semakin meluas ke arah barat laut mengikuti aliran Kali Pepe hingga Kelurahan Timuran dan meluas ke arah barat daya hingga Kelurahan Joyosuran. Luas wilayah banjir dengan kedalaman banjir kurang dari 100 cm memiliki luas 2,68 km² salah satunya di Kelurahan Kestalan. Wilayah dengan kedalaman banjir 100 sampai 150cm memiliki luasan sebesar 0,99 km², sedangkan wilayah dengan kedalaman banjir 150 sampai 200 memiliki luasan sebesar 0,25 km² (lihat Tabel 5.21).



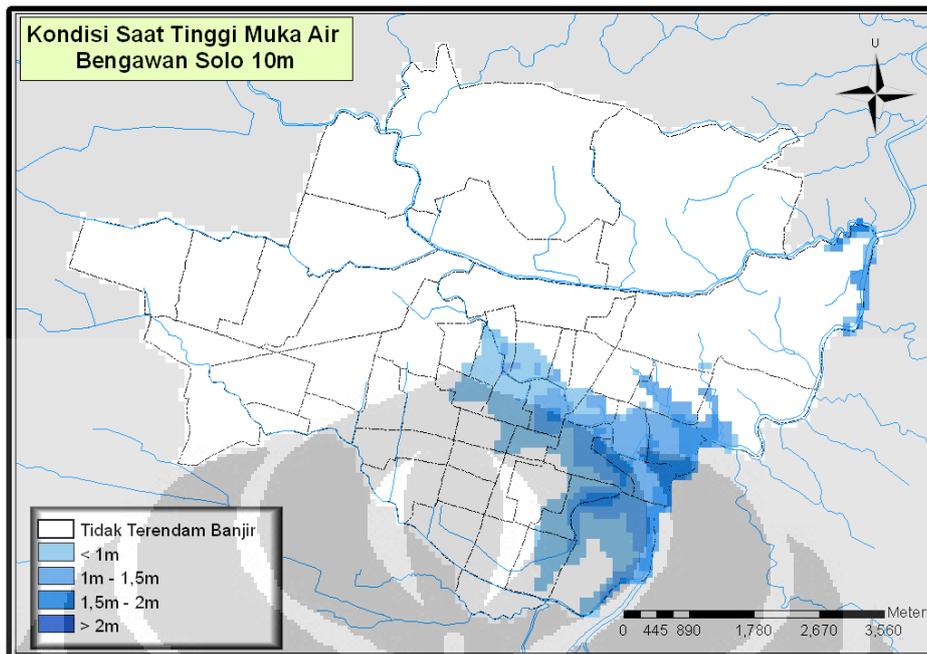
Gambar 5.21. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 9,5 m

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm semakin bertambah luasannya, yaitu dengan persentase luasan sebesar 5,54% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 100 sampai 150 cm memiliki persentase 2,04% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo. Sedangkan untuk wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 150 sampai 200 cm memiliki persentase luasan sebesar 0,52% dari keseluruhan wilayah Kota Solo.

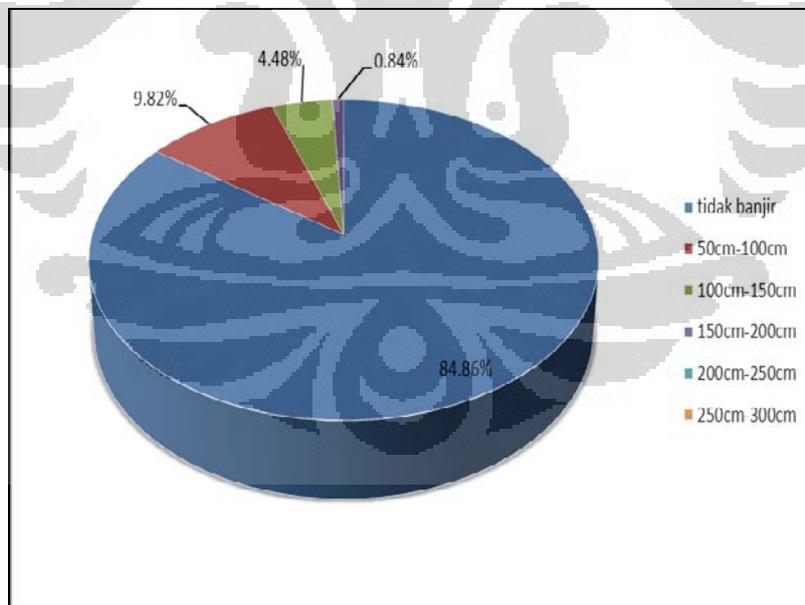
9. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10 m

Pada kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 10 m, sebaran wilayah banjir semakin meluas. Wilayah yang tergenang semakin meluas ke arah barat laut mengikuti aliran Kali Pepe hingga Kelurahan Gilingan, selain itu banjir juga meluas ke arah barat daya dan selatan hingga Kelurahan Joyotakan. Luas wilayah banjir dengan kedalaman banjir kurang dari 100 cm memiliki luas 4,75 km² salah, sementara wilayah dengan kedalaman banjir 100 sampai 150 cm memiliki luasan sebesar 2,17 km² dan wilayah dengan kedalaman banjir 150 sampai 200 memiliki luasan sebesar 0,41 km² (lihat Gambar 5.22 dan Tabel 5.7).

Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman kurang dari 100 cm semakin bertambah luasannya, yaitu dengan persentase luasan sebesar 9,82% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 100 sampai 150 cm bertambah luasannya dengan persentase 4,48% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo. Sedangkan untuk wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 150 sampai 200 cm memiliki persentase luasan sebesar 0,84% dari keseluruhan wilayah Kota Solo (lihat Gambar 5.23).



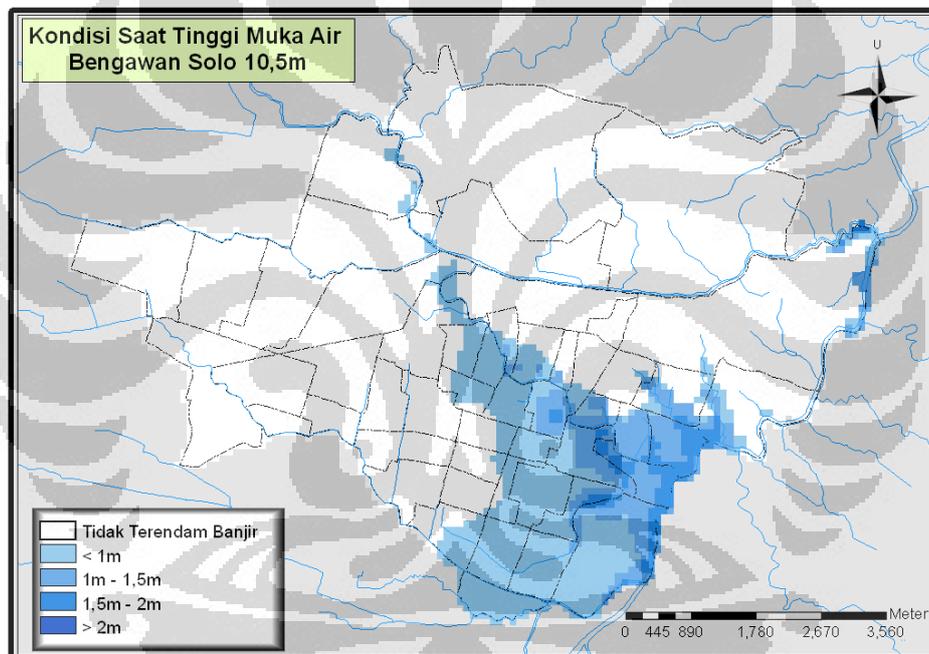
Gambar 5.22. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10 m



Gambar 5.23. Persentase Luasan Wilayah Tergenang Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10 m

10. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10,5 m

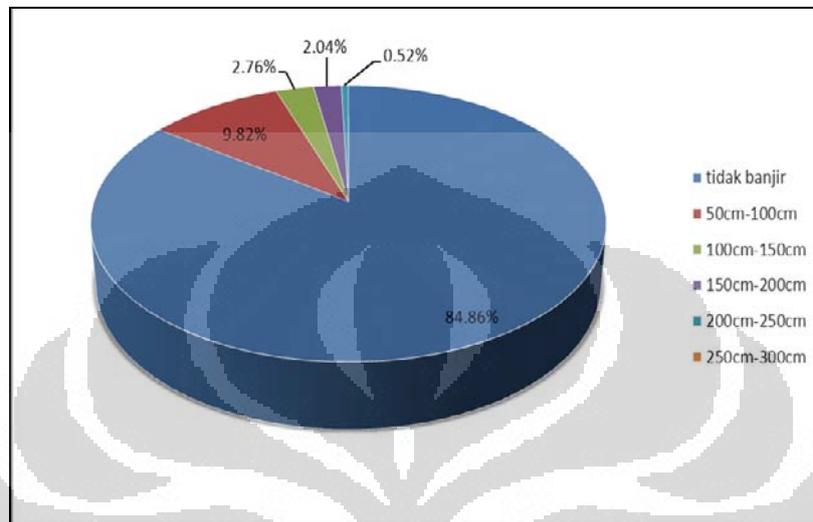
Pada kondisi muka air Bengawan Solo menunjukkan tinggi 10,5 m, sebaran wilayah banjir cenderung tetap namun kedalaman banjir mengalami perubahan. Luas wilayah banjir dengan kedalaman banjir 50 sampai 100 cm memiliki luas 4,75 km² salah, wilayah dengan kedalaman banjir 100 sampai 150cm memiliki luasan sebesar 1,34 km², dan wilayah dengan kedalaman banjir 150 sampai 200 memiliki luasan sebesar 0,99 km². Sementara Wilayah dengan kedalaman banjir 200 sampai 250 cm memiliki luasan sebesar 0,25 km² (lihat Gambar 5.24 dan Tabel 5.7).



Gambar 5.24. Kondisi Banjir di Kota Solo Saat Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10,5 m

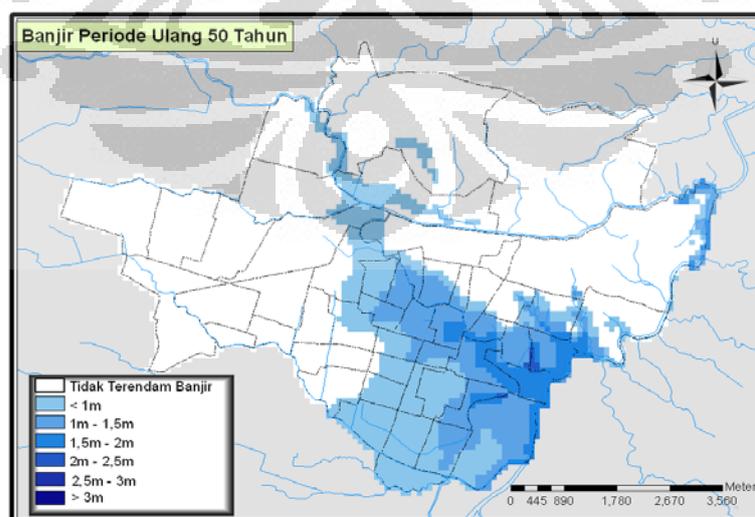
Secara keseluruhan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 50 sampai 100 cm luasannya tetap, yaitu dengan persentase luasan sebesar 9,82% dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 100 sampai 150 cm berkurang luasannya dengan persentase 2,76% dari keseluruhan luas wilayah Kota Solo. Sedangkan untuk wilayah yang tergenang banjir dengan kedalamam 150 sampai

200 cm memiliki persentase luasan sebesar 2,04% dan wilayah yang tergenang banjir dengan kedalaman 200 sampai 250 cm memiliki luasan dengan persentase 0,52% dari keseluruhan wilayah Kota Solo (lihat Gambar 5.25). Kondisi ini juga tergambar pada kondisi banjir prediksi 25 tahunan.



Gambar 5.25. Persentase Luasan Wilayah Tergenang Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo 10,5 m

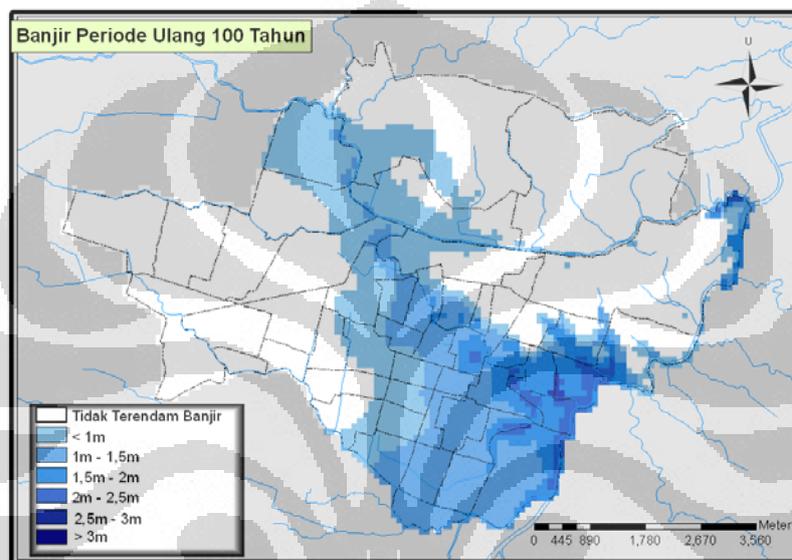
11. Banjir Pada Tinggi Muka Air Bengawan Solo Lebih dari 11 m



Gambar 5.26. Prediksi Kondisi Banjir 50 Tahunan di Kota Solo

Kondisi banjir pada tinggi muka air Bengawan Solo lebih dari 11 m tergambar pada prediksi banjir 50 dan 100 tahunan.

Kondisi kedalaman banjir di Kota Solo pada periode 50 tahun mencapai > 2 m. Wilayah yang tergenang banjir semakin meluas di bagian tengah dan barat laut Kota Solo dan luas wilayah banjir di Kota Solo bertambah menjadi 10,98 km² (lihat Gambar 5.30).



Gambar 5.27. Prediksi Kondisi Banjir 100 Tahunan di Kota Solo

Kondisi kedalaman banjir di Kota Solo pada periode 100 tahun mencapai > 2 m. Wilayah yang tergenang banjir semakin meluas, terutama di bagian tengah, barat laut, dan timur Kota Solo dan luas wilayah banjir di Kota Solo semakin meluas menjadi 15,05 km² (lihat Gambar 5.31 dan).

5.4 Aplikasi Model Banjir Untuk Mitigasi Bencana

Untuk memenuhi aspek mitigasi bencana, maka model wilayah banjir yang mengacu tinggi muka air di stasiun Jurug dikorelasikan dengan tinggi muka air di stasiun Jarum yang lokasinya 23,8 Km ke arah hulu dari stasiun Jurug.

Untuk mengetahui waktu tempuh pergerakan air dari satu titik ke titik lain, dapat menggunakan rumus Kirpich dan dipadukan dengan cara Horton

Tabel 5.9 Rumus Kirpich dan Rumus Horton

Rumus Kirpich	Rumus Horton
$tc = 0,06628 \left[\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right]$	$S = \frac{\Delta H}{\ell} \times 100\%$
<p>tc = waktu konsentrasi (jam)</p> <p>L = panjang Jarak antar pos duga air (Jurug dan Jarum) yang diukur menurut aliran sungai (Km)</p> <p>S = Kemiringan antara elevasi maksimum dengan elevasi minimum.</p>	<p>S = Kemiringan antara elevasi maksimum dengan elevasi minimum.</p> <p>ℓ = Jarak antar pos duga air (Jurug dan Jarum, dalam Km)</p> <p>ΔH = perbedaan elevasi antara maksimum dan elevasi minimum</p>

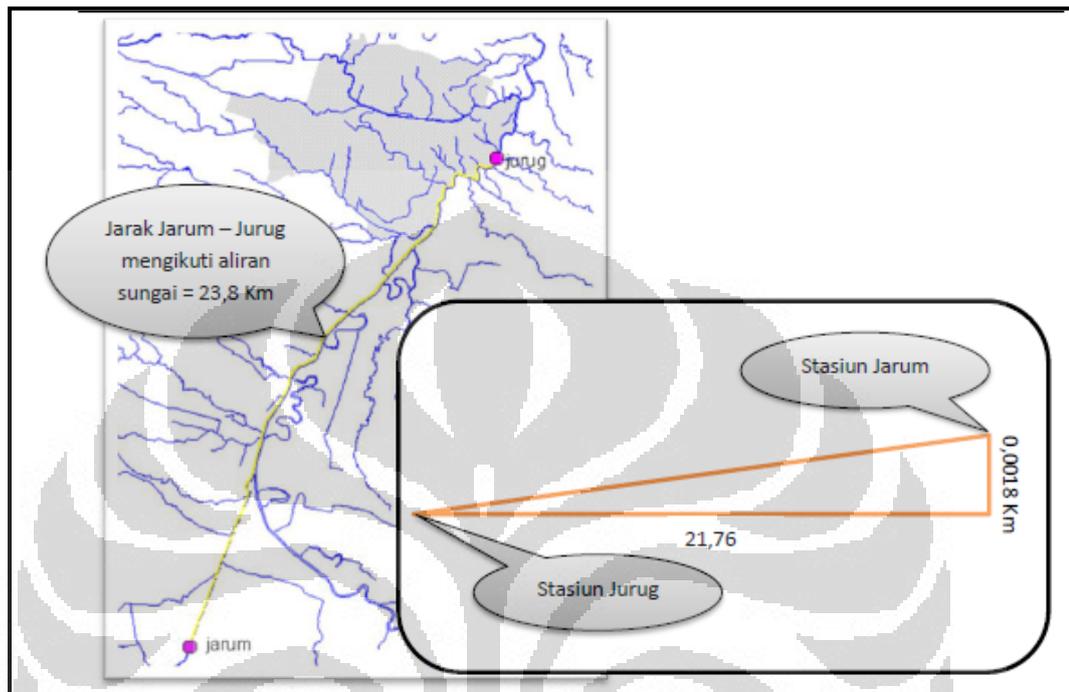
[Sumber : Susilowati, 2007]

Dengan menggunakan rumus Kirpich dan Horton dilakukan perhitungan waktu tempuh pergerakan air dari stasiun Jarum ke stasiun Jurug, sebagai berikut :

$$S = \frac{0,0018}{21,76} \times 100\% = 0,0083$$

$$tc = 0,06628 \left[\frac{23,8^{0,77}}{0,0083^{0,385}} \right] = 4,8 \text{ jam}$$

Berdasarkan perhitungan waktu konsentrasi dari stasiun Jarum ke stasiun Jurug diperoleh angka 4,8 yang berarti bahwa pergerakan air dari stasiun Jarum ke stasiun Jurug membutuhkan waktu 4,8 jam.



Gambar 5.28. Lokasi Pos Duga Air Stasiun Jurug dan Stasiun Jarum

Untuk mengetahui hubungan tinggi muka air stasiun Jurug dan stasiun Jarum, maka dilakukan perhitungan korelasi antara keduanya.

Tabel 5.10. Korelasi Antra Tinggi Muka Air Stasiun Jurug dan Stasiun Jarum

Correlations

		jurug	jarum
jurug	Pearson Correlation	1	.755**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	62	62
jarum	Pearson Correlation	.755**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	62	62

** . Correlation is significant at the 0.01 level

Berdasarkan tabel korelasi antara tinggi muka air di stasiun Jurug dengan tinggi muka air di stasiun Jarum didapatkan nilai signifikansi sebesar 0.00, hal ini

menunjukkan bahwa antara tinggi muka air di stasiun Jurug dan tinggi muka air di stasiun Jarum memiliki keterkaitan (dengan taraf kepercayaan 0,05). Nilai korelasi (r) antara kedua variabel adalah sebesar 0,755 yang berarti tinggi lokasi memiliki pengaruh yang cukup besar yaitu 56,25% terhadap kedalaman banjir, sedangkan tanda positif (+) pada nilai korelasi memiliki arti bahwa tinggi muka air di stasiun Jarum berbanding lurus dengan tinggi muka air di stasiun Jurug.

Tabel 5.11. Uji Regresi Linier

		Coefficients ^a				
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.562	.264		5.923	.000
	jarum	1.617	.181	.755	8.917	.000

a. Dependent Variable: jurug

Perhitungan analisis regresi linier dengan menggunakan *software* SPSS 17 menunjukkan bahwa hasil dari nilai signifikansi untuk variabel x (tinggi muka air di stasiun Jarum) sebesar 0,000 sehingga dapat dikatakan bahwa tinggi muka air di stasiun Jarum berpengaruh terhadap variabel y (tinggi muka air di stasiun Jurug) dengan taraf 0,05.

Koefisien dari tinggi muka air di stasiun Jarum adalah sebesar 1,617 dan konstanta sebesar 1,562 sehingga didapat persamaan analisis regresi linier :

$$y = 1,562 + 1,617x$$

Berdasarkan persamaan regresi tersebut, apabila tinggi muka air di stasiun Jurug dimasukkan nilai 4 m (saat model wilayah banjir menunjukkan kondisi Kota Solo mulai terendam banjir) maka nilai x (tinggi muka air di stasiun Jarum) menunjukkan nilai 1,5 m. hal tersebut mengindikasikan bahwa saat tinggi muka air Jurug 4 m, perkiraan tinggi muka air Jarum adalah 1,5 m. Apabila tinggi muka air stasiun Jarum mencapai 1,5 m maka Kota Solo harus waspada dengan kemungkinan terjadinya banjir 4,8 jam kemudian di sekitar perbatasan Kelurahan Gandekan, Kampung Sewu dan Sangkrah dengan kedalaman banjir antara 50 sampai 100 cm.

BAB 6

KESIMPULAN

Peristiwa banjir di Kota Solo cenderung meningkat dari tahun 2007 sampai 2009, baik dari segi frekuensi kejadian maupun luasan wilayah banjir. Berdasarkan waktunya, peristiwa banjir di Kota Solo terjadi selama 1 hingga 3 hari. Banjir terbesar di Kota Solo terjadi pada akhir tahun 2007, mencapai kedalaman maksimum 5,65 m pada titik pantau di kelurahan Sangkrah.

Selain dipegaruhi oleh tinggi muka air Bengawan Solo, banjir di Kota Solo juga dipengaruhi oleh ketinggian tempat. Hasil pemodelan banjir di Kota Solo menunjukkan bahwa wilayah yang sering terendam banjir berada di bagian timur dan tenggara Kota Solo yang berada di sepadan sungai. Kota Solo mulai terendam air pada saat tinggi muka air Bengawan Solo mencapai angka 6 m, yang terjadi di perbatasan Kelurahan Gandekan, Kampung Sewu dan Sangkrah dengan kedalaman banjir antara 50 sampai 100 cm. Semakin tinggi muka air Bengawan Solo, semakin luas wilayah yang berpotensi tergenang air.

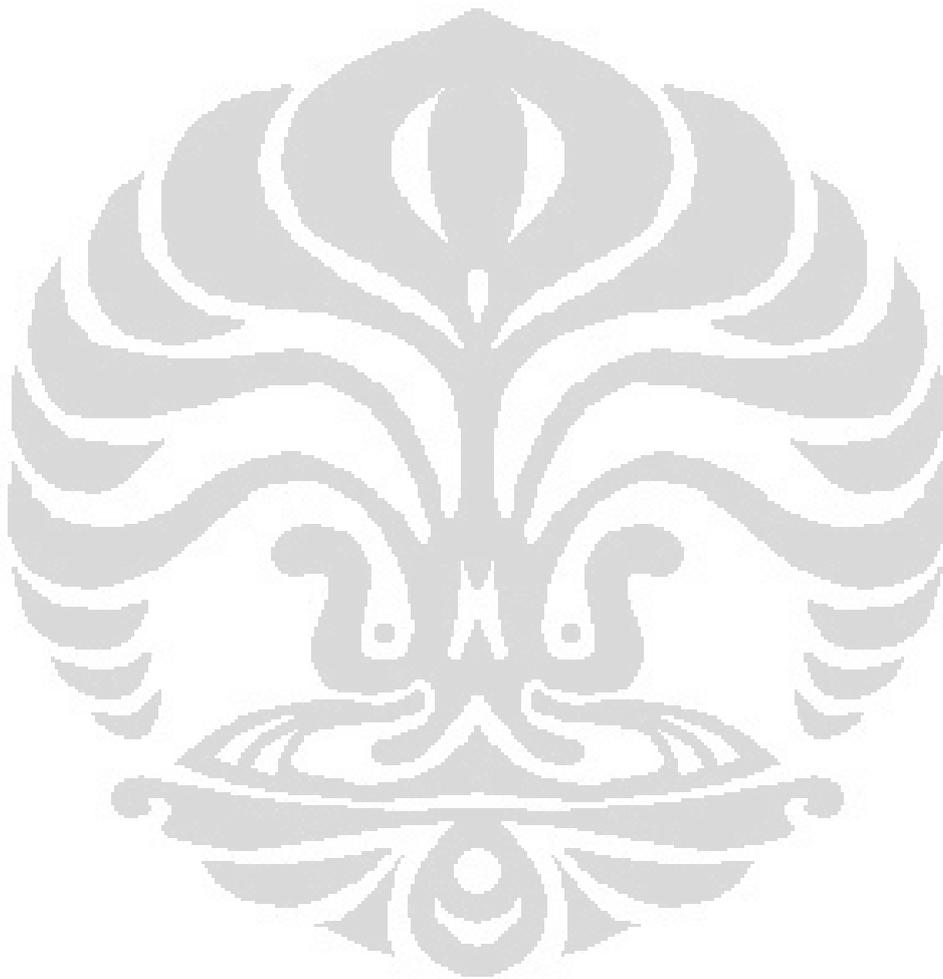
DAFTAR PUSTAKA

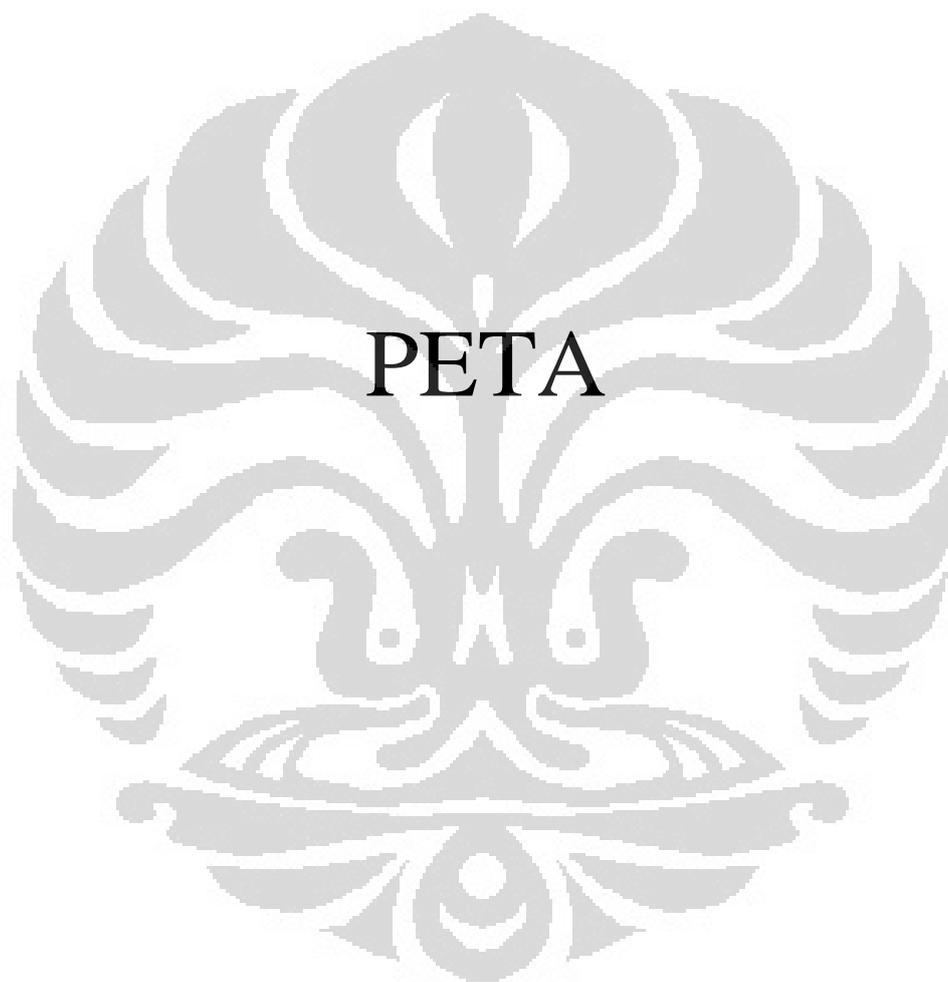
- Akhirudin, Nur H dan Suharjo. 2006. *Identifikasi Perubahan Penggunaan Lahan Kota Surakarta Tahun 1993 – 2004 Dengan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG)*. Jurnal Penelitian Sains & Teknologi, Vol. 7, No. 2, 2006: 170 – 178. Univ Muhammadiyah Surakarta. Solo.
- Arisandi, A. 2010. *Model Dinamik Wilayah Potensi Rob Di Jakarta Utara*. Skripsi Sarjana Departemen Geografi FMIPA UI. Depok.
- Amanda ,H; Sayma ,R; Faisal ,H; Lance ,Y; Amvrossios ,C B; Greg ,E. 2007. *Satellite-based Flood Modelling Using TRMM-based Rainfall Products*. Sensor Junal 2007. USA
- BAPPEDA Kota Surakarta. 2003. *Review Master Plan Drainase Surakarta Utara*. Bekerjasama dengan Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Negeri Sebelas Maret.
- BAPPENAS. 2008. *Kebijakan Penanggulangan Bencana Banjir di Indonesia*. Deputi Bidang Sarana dan Prasarana, Direktorat Pengairan dan Irigasi. Departemen Pekerjaan Umum. 2008. *Profil Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo*. Jakarta.
- Fauziah. 2008. *Kejadian Banjir di DAS Ngrowo Ngasinan Tahun 1992 – 2008, Kabupaten Trenggalek, Jawa Tengah*. Skripsi Sarjana Departemen Geografi FMIPA UI. Depok.
- Hamblin, W and Christiansen. 2004. *Earth's Dynamic Systems : Chapter River System*. Prentice Hall. London.
- JICA – MPW Technical Cooperation Project. 2010. *Draft Panduan Pembuatan Peta Rawan Banjir*. Jakarta

- Hagget, P. 2001. *Geography a Global Synthesis*. Prentice Hall. London
- Prasetyo, Afriyanto B. 2010. *Dampak Perubahan Luas Lahan Terbangun Terhadap Banjir Di Kota Surakarta*. Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Rahman, M Z A dan Alkema, D. 2006. *Digital Surface Model (DSM) Construction and Flood Hazard Simulation for Development Plans in Naga City, Philippines*. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), Enschede, the Netherlands.
- Chairunisa, R. 2010. *Model Keruangan Kualitas Sinyal Telepon Seluler Di Daerah Pegunungan (Studi Kasus Provider 3 Di Kecamatan Cisarua – Bogor)*. Skripsi Sarjana Departemen Geografi FMIPA UI. Depok.
- Roy W .1978. *Floods—A Geographical Perspective*. The Macmillan Press. London.
- Sarwono, J. 2008. *Teori Analisa Regresi Linier*. Jakarta
- Siswoko. 2007. *Banjir, Masalah banjir dan Upaya Mengatasinya*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Susilowati dan Santita N R, Tima. 2006. *Analisis Perubahan Tata Guna Lahan Dan Koefisien Limpasan Terhadap Debit Drainase Perkotaan*. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret
- Susilowati. 2007. *Analisis Hidrograf Aliran Sungai Dengan Adanya Beberapa Bendung Kaitannya Dengan Konservasi Air*. Tesis Program Studi Ilmu Lingkungan. Universitas Sebelas Maret.
- Sutopo Purwo Nugroho. 2002. *Analisis Curah Hujan Dan Sistem Pengendalian Banjir Di Pantai Utara Jawa Barat (Studi Kasus Bencana Banjir Periode Januari – Februari 2002)*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol.4, No.5, (Agustus 2002), hal. 114-122 Humas-BPPT/ANY

White, Gilbert F. 1942. *Human Adjustment to Floods*. Dissertation. University of Chicago. USA.

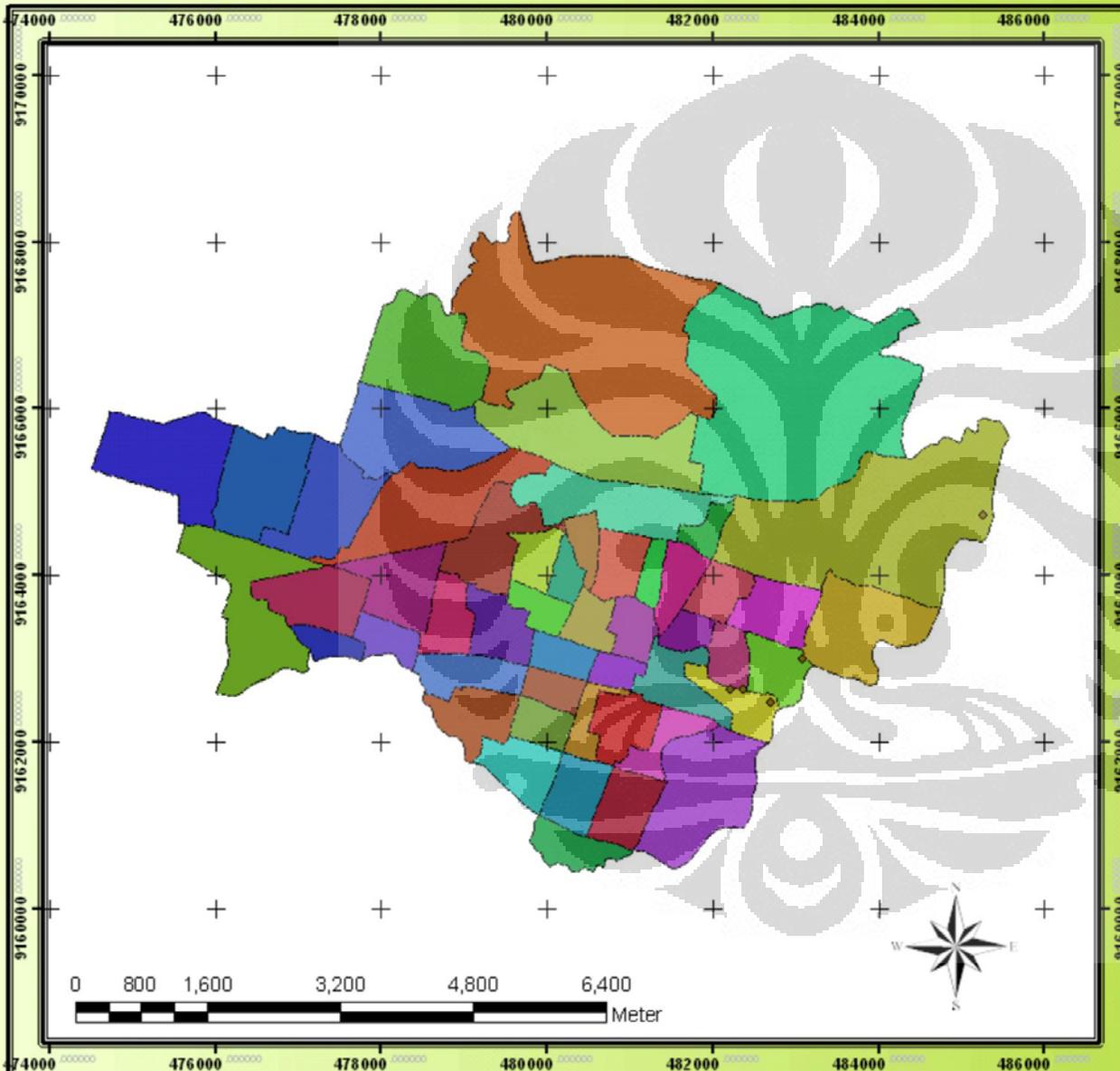
Tangguh W. 2011. *Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perubahan Pemanfaatan Perumahan Untuk Tujuan Komersial Di Kawasan Tlogosari Kulon, Semarang*. Skripsi Fakultas Ekonomi Universitas Diponegoro Semarang.





PETA

PETA ADMINISTRASI KOTA SOLO



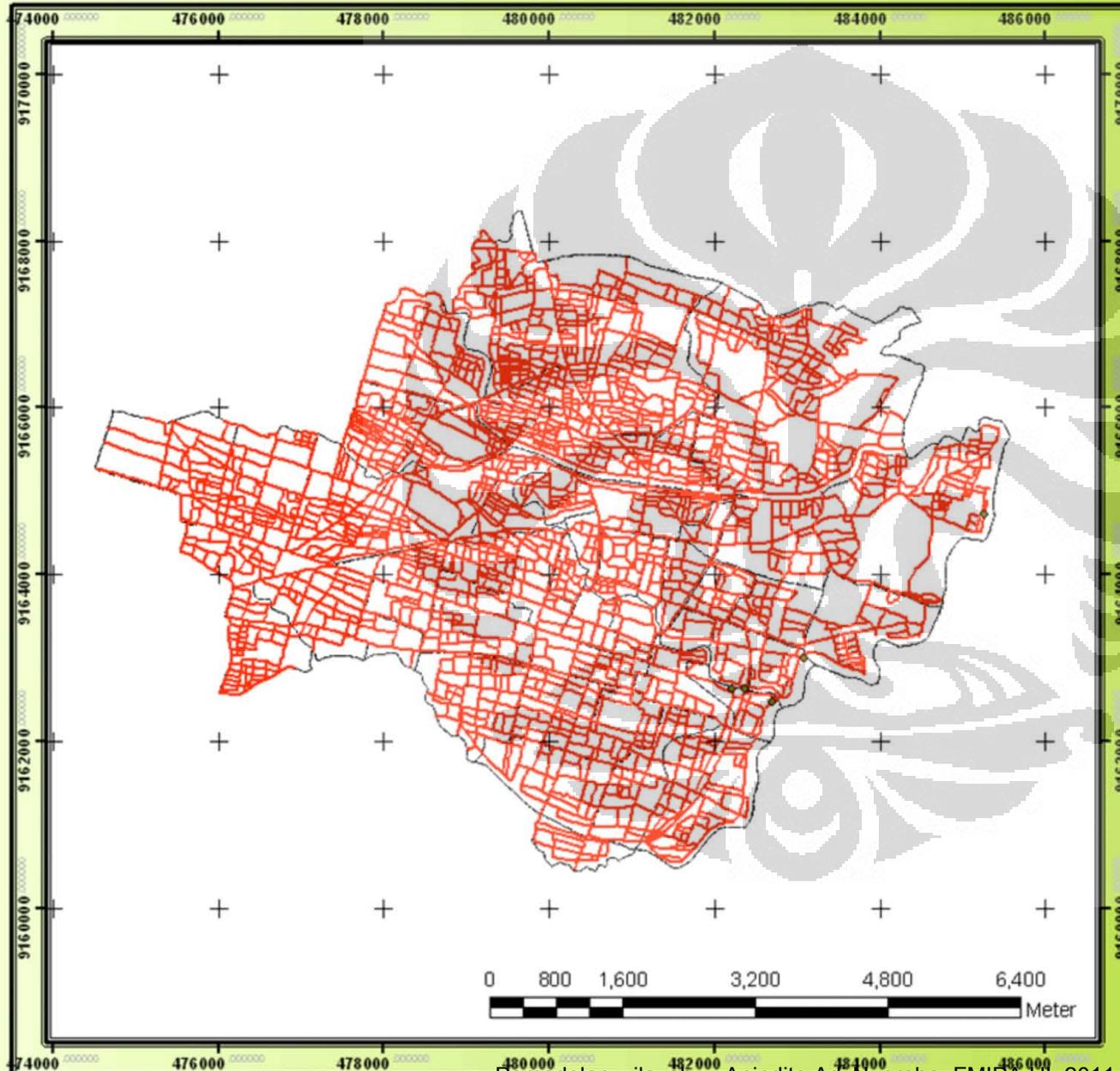
KETERANGAN :

----- Batas Kelurahan

KETELAN	BALUWARTI
KRATONAN	BANYUANYAR
LAWEYAN	BUMI
MANAHAN	DANUKUSUMAN
MANGKUBUMEN	GAJAHAN
MOJOSONGO	GANDEKAN
NUSUKAN	GILINGAN
PAJANG	JAGALAN
PANULARAN	JAJAR
PASAR KLIWON	JAYENGAN
PENUMPING	JEBRES
PUCANGSAWIT	JOYOSURAN
PUNGGAWAN	JOYOTAKAN
PURWODININGRATAN	KADIPIRO
PURWOSARI	KAMPUNG BARU
SANGKRAH	KARANGASEM
SEMANGGI	KALUMAN
SERENGAN	KEDUGLUMBU
SETABELAN	KEMLAYAN
SEWU	KEPATIHAN KULON
SONDAKAN	KEPATIHAN WETAN
SRIWEDARI	KEPRABON
SUDIROPRAJAN	KERTEN
SUMBER	KESTALAN
TEGALHARJO	TIPES
TIMURAN	

Sumber : BPN Kota Solo

PETA JARINGAN JALAN KOTA SOLO



KETERANGAN :

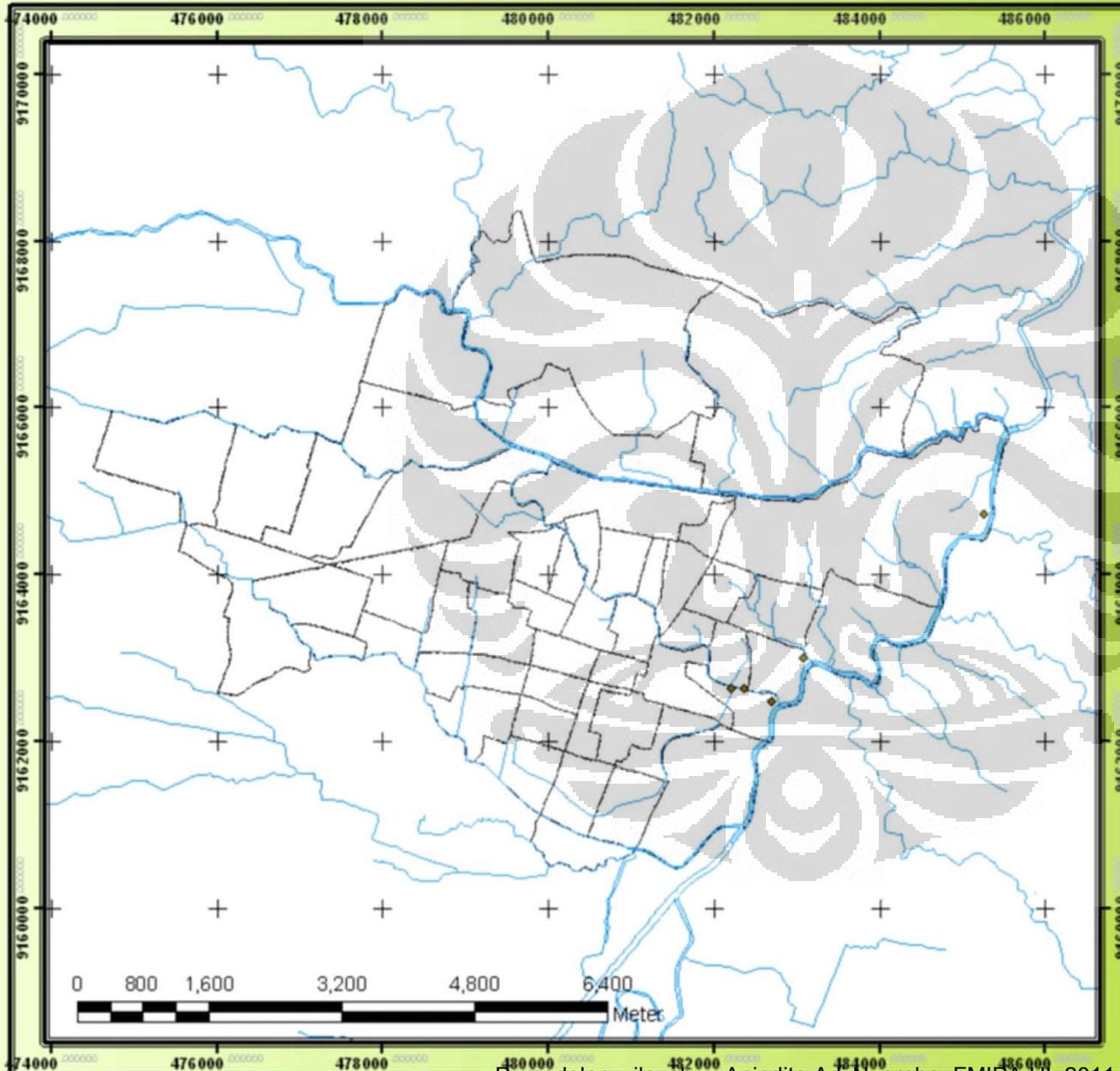
- Batas Kelurahan
- Jaringan Jalan

Inset



Sumber : BPN Kota Solo

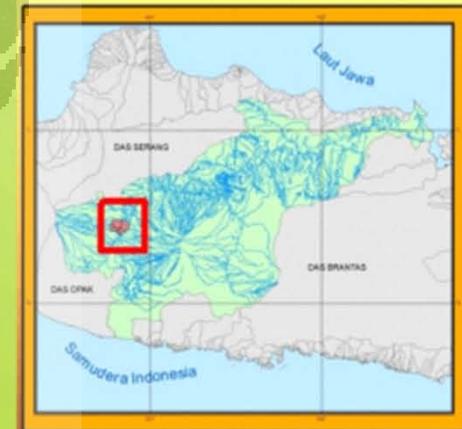
PETA JARINGAN SUNGAI KOTA SOLO



KETERANGAN :

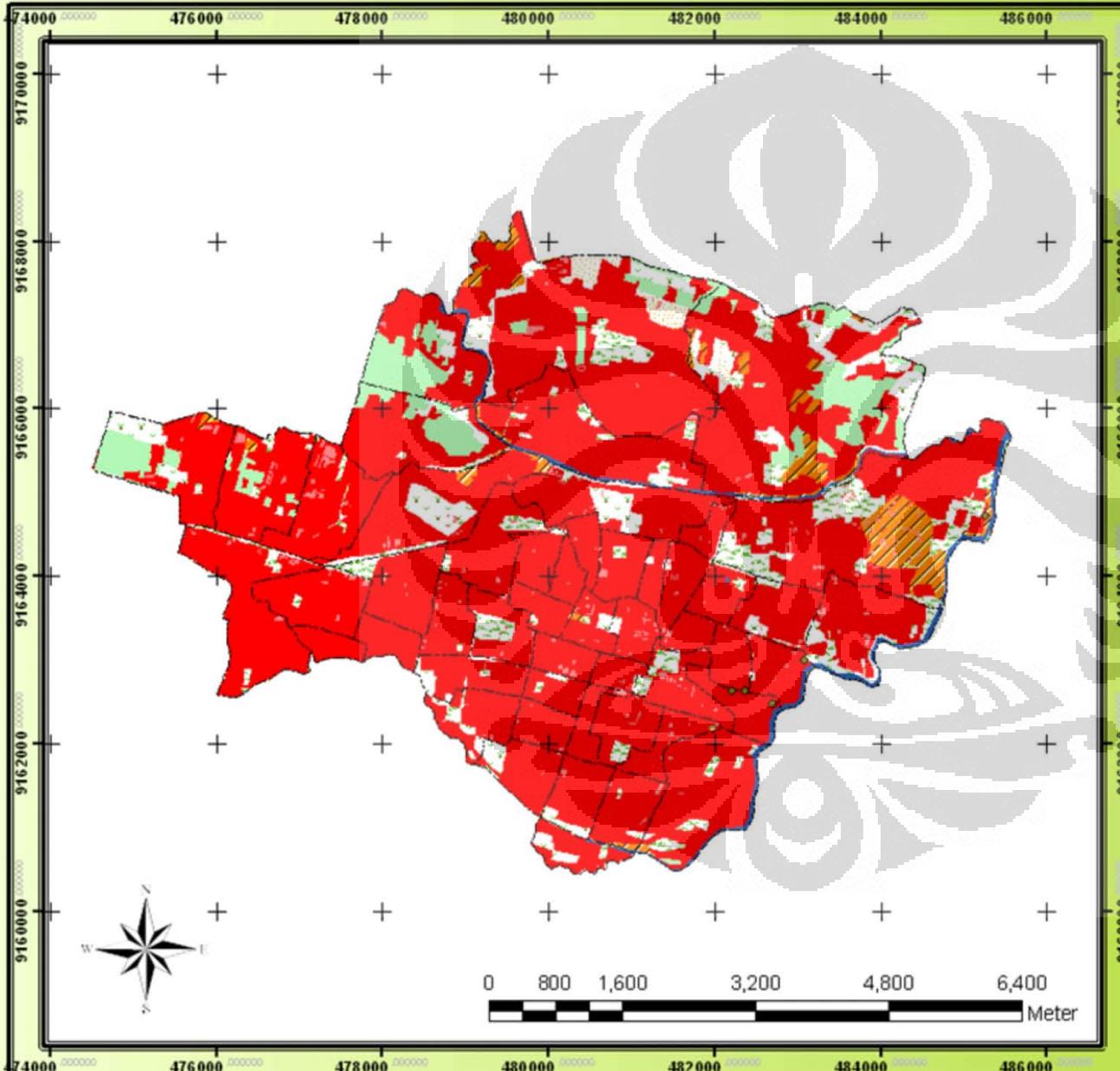
- Batas Kelurahan
- Jaringan Sungai

Inset



Sumber : Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo

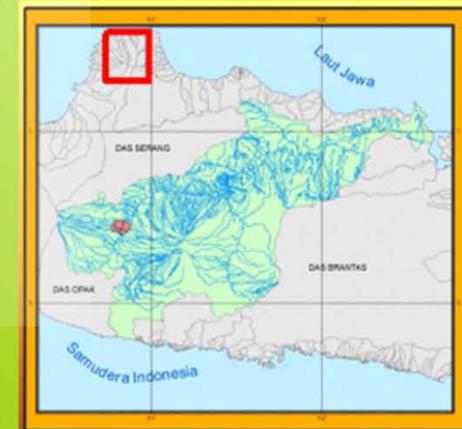
PETA PENGGUNAAN TANAH KOTA SOLO



KETERANGAN :

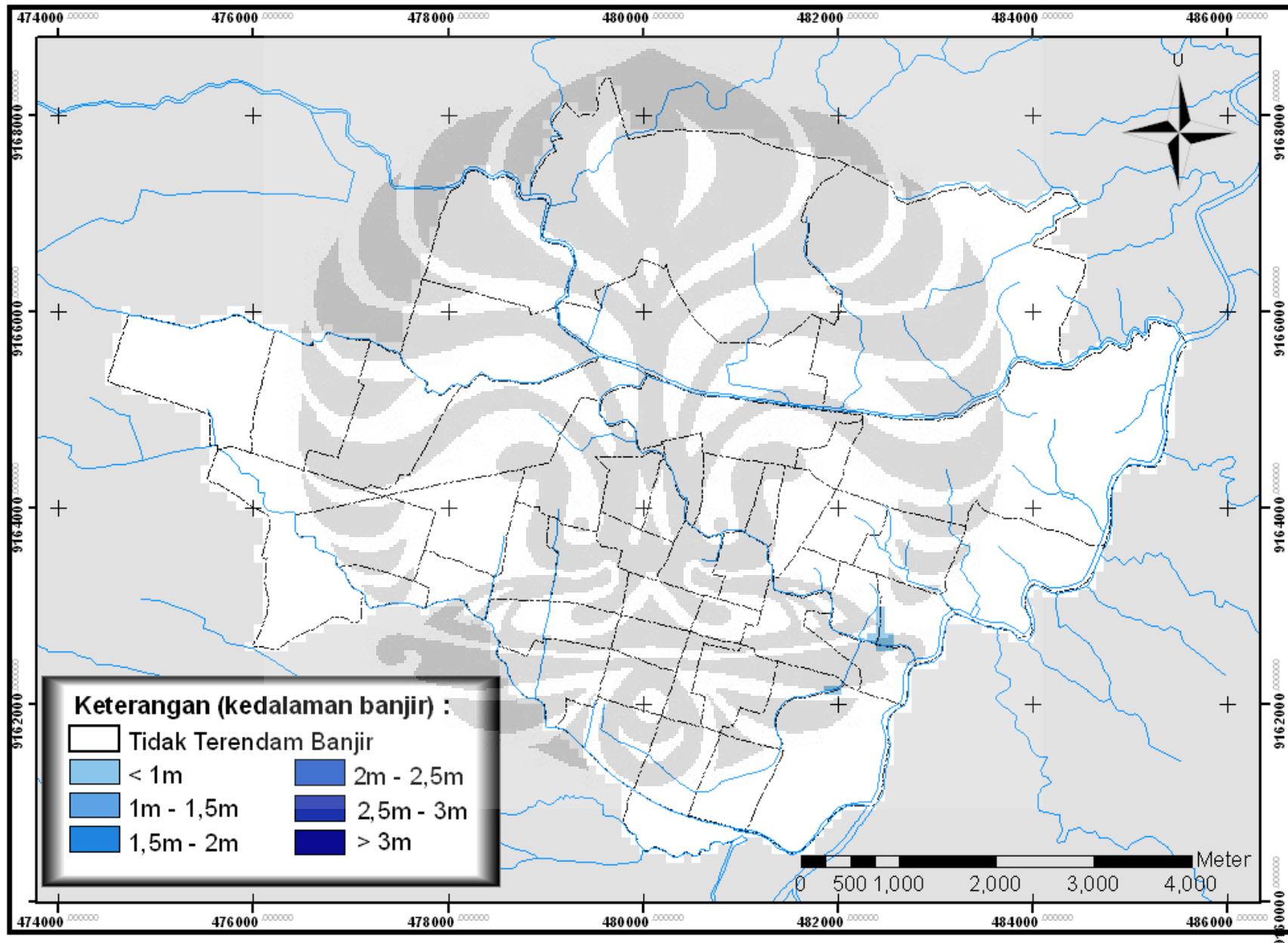
- Batas Kelurahan
- Badan Air
- Bangunan/Gedung
- Padang Rumput
- Pemukiman
- Perkebunan/Kebun
- Sawah
- Sawah Tadah Hujan
- Tegalan/Ladang
- Vegetasi Air Tawar

Inset



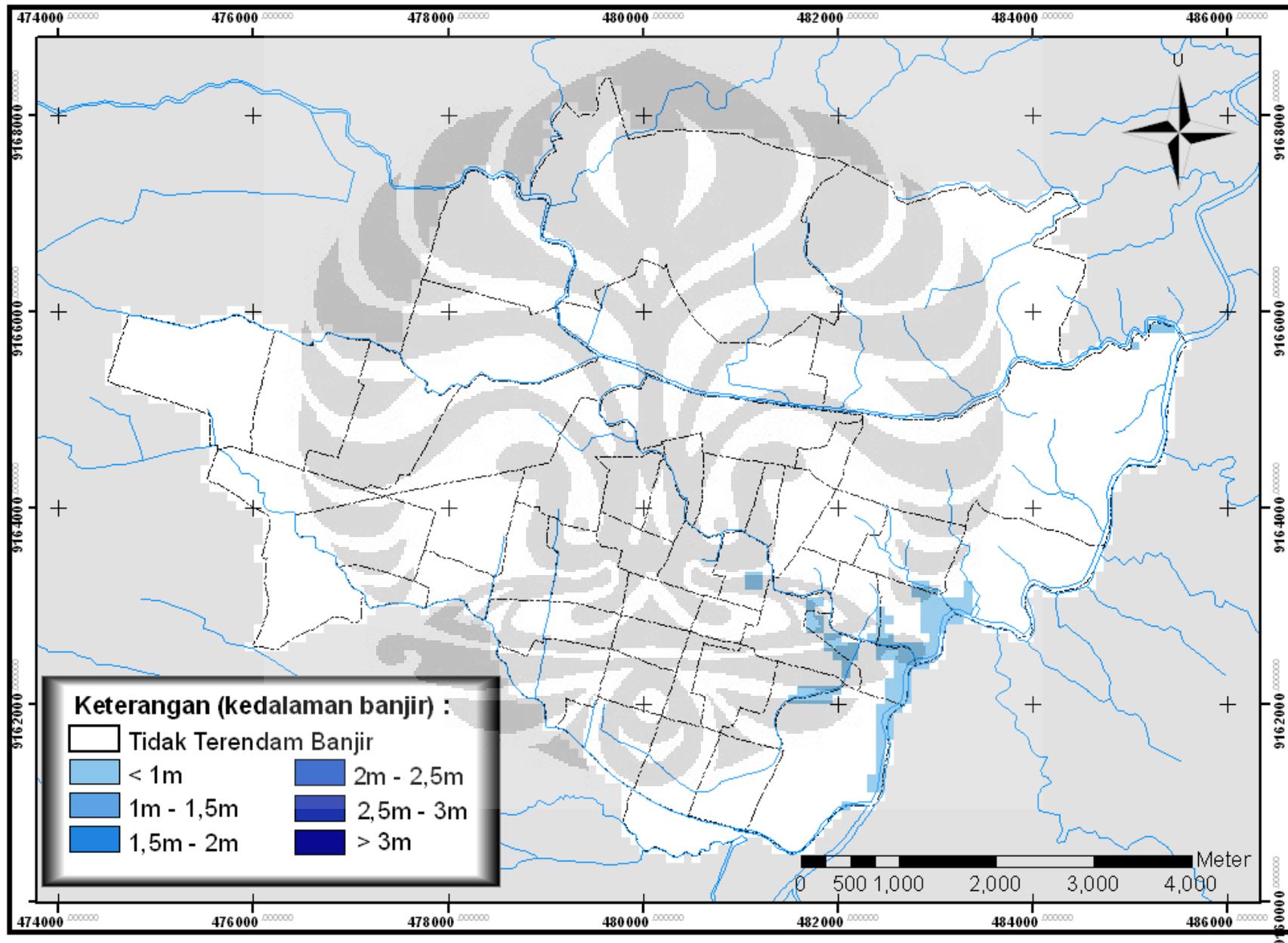
Sumber : BPN Kota Solo

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 6 M



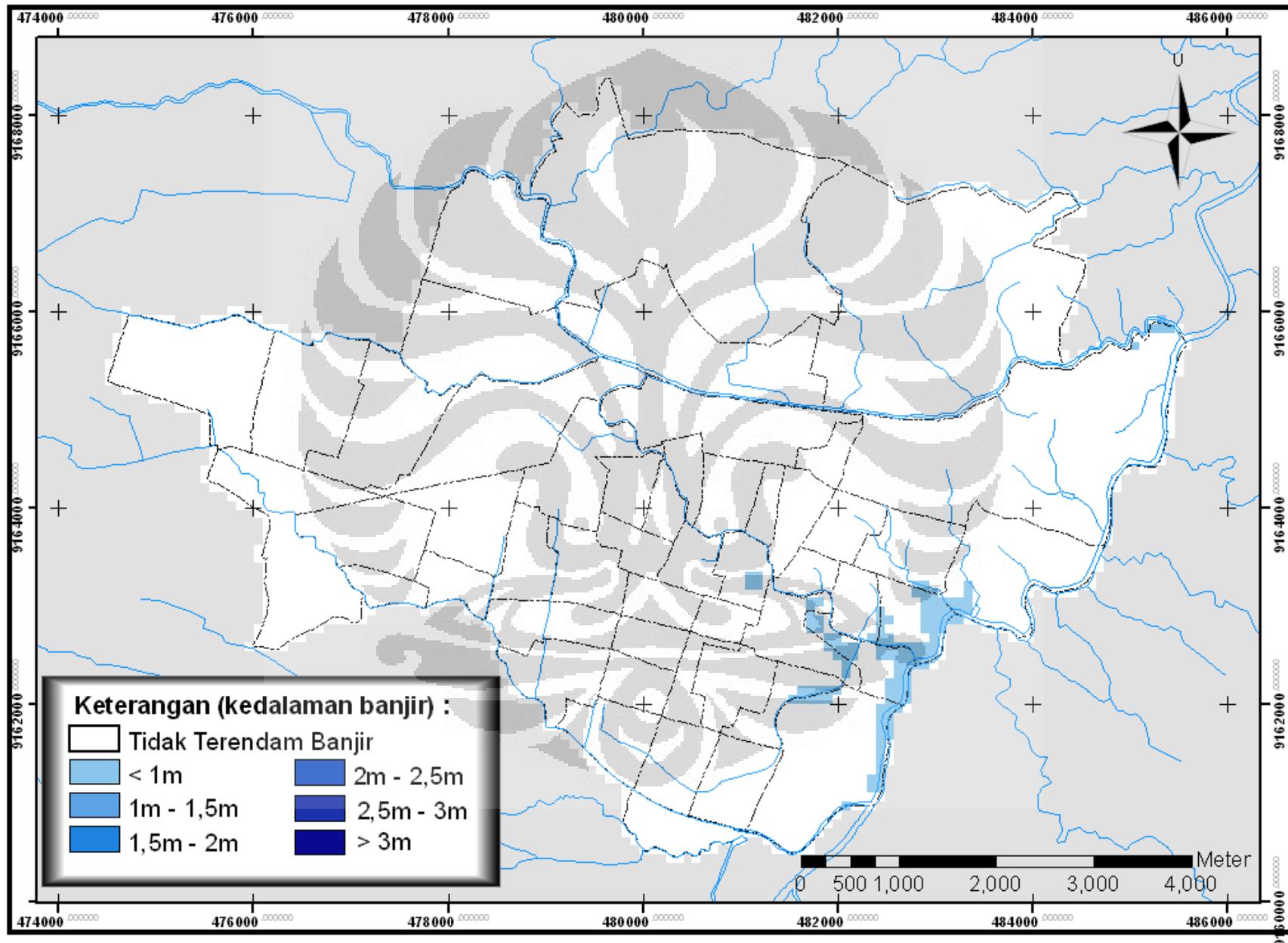
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) (Hendriyanto, Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011)

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 6,5 M



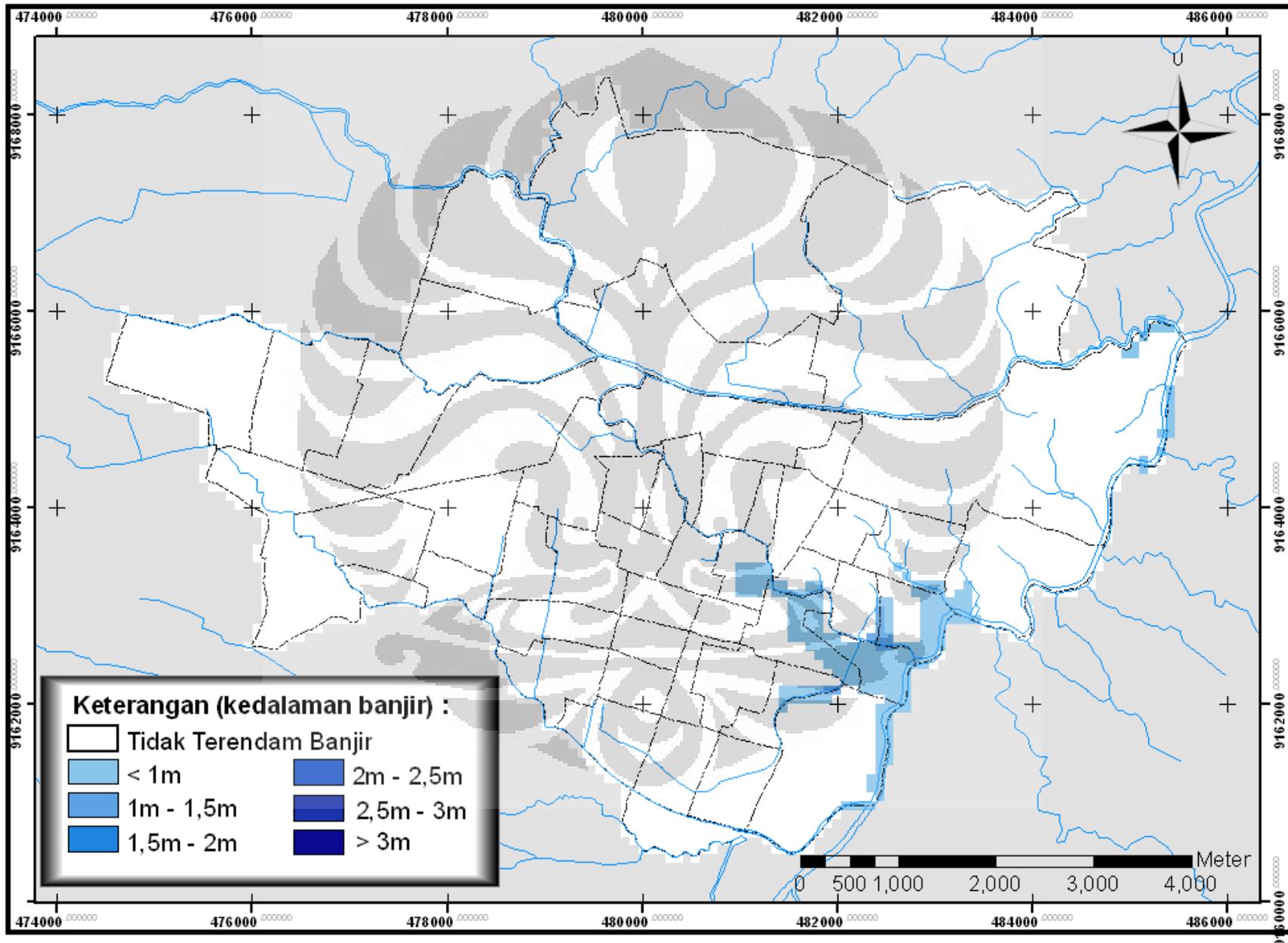
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 7 M



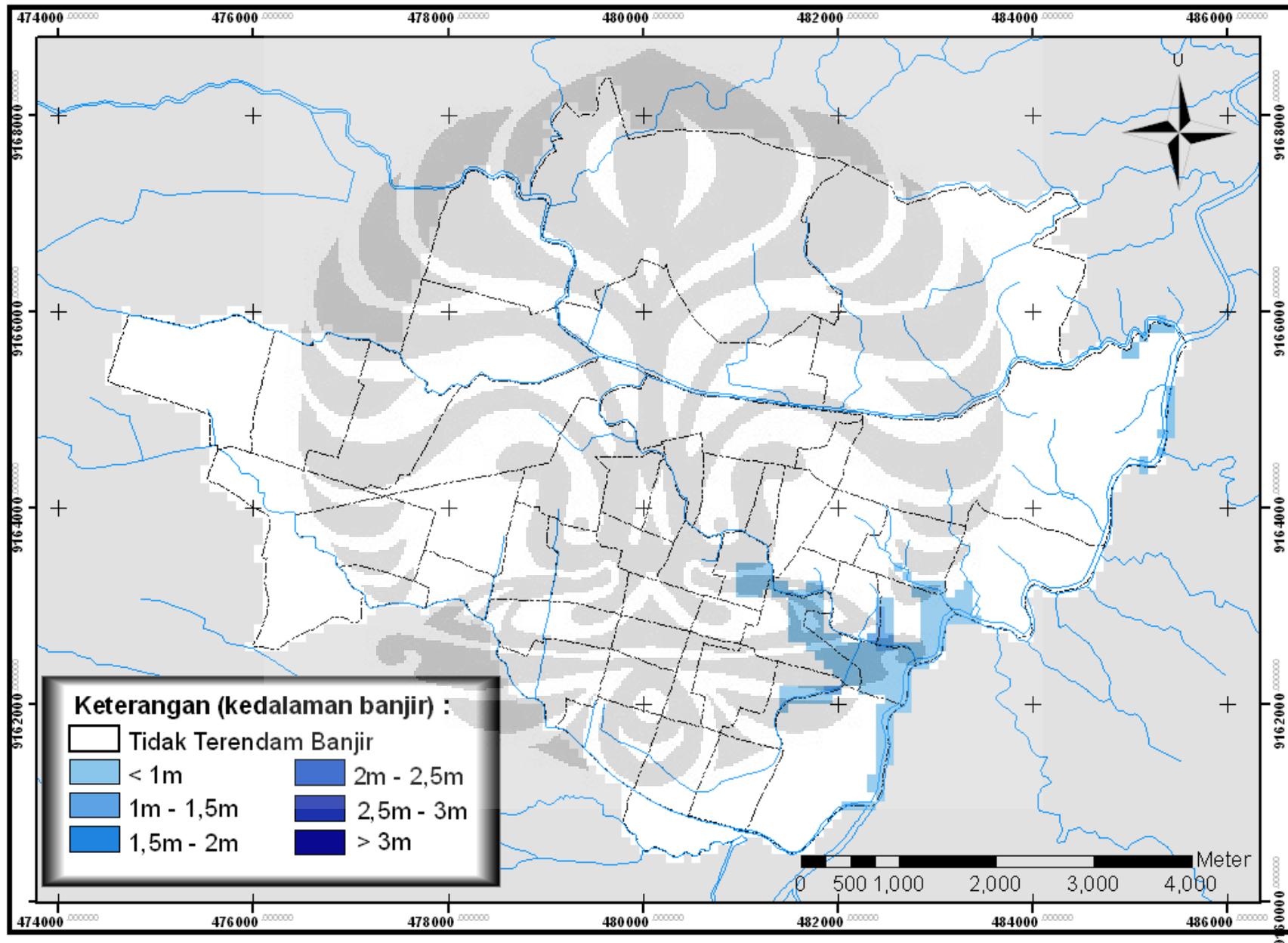
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 7,5 M



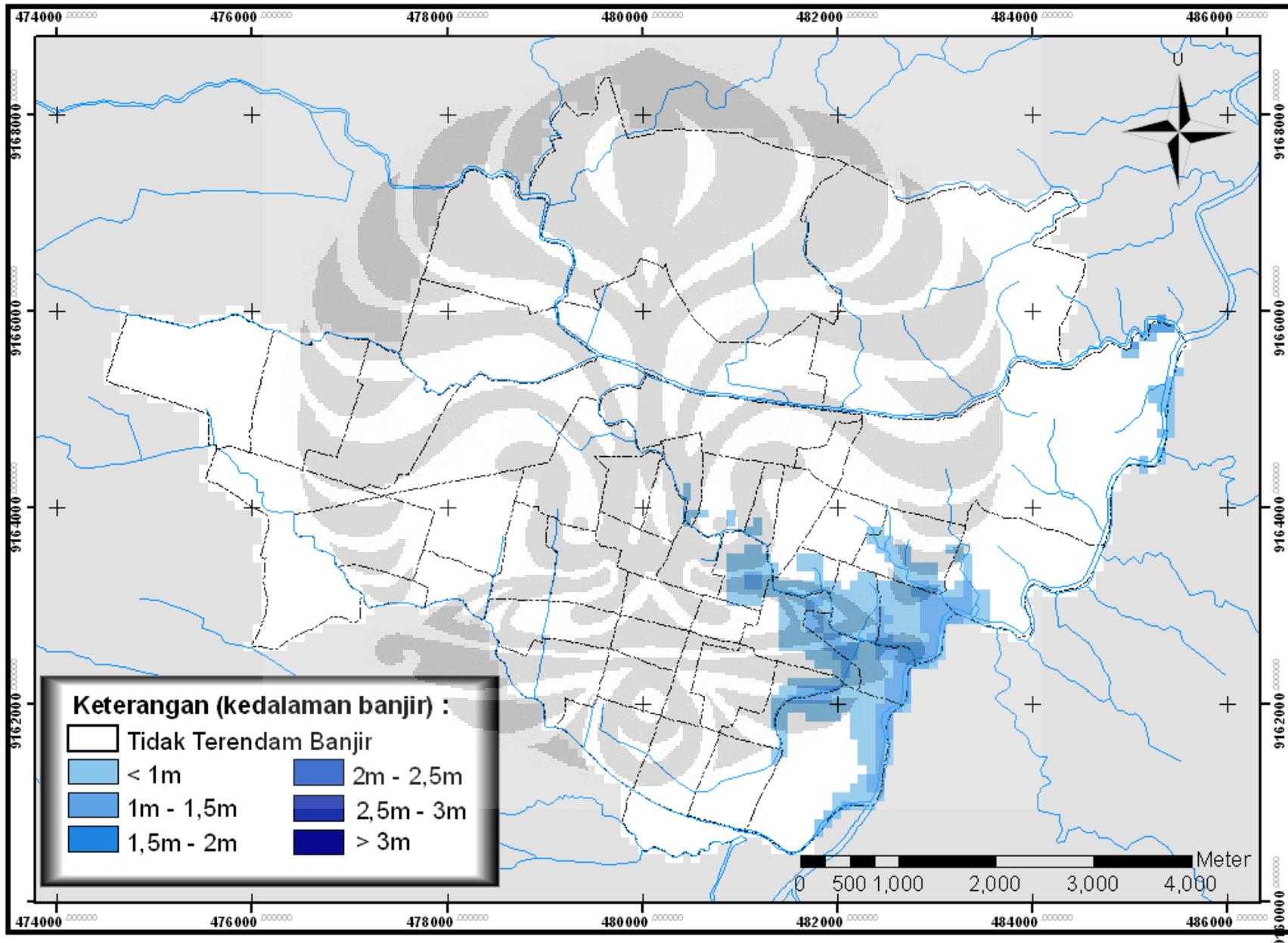
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) oleh H. Hidayatullah, Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 8 M



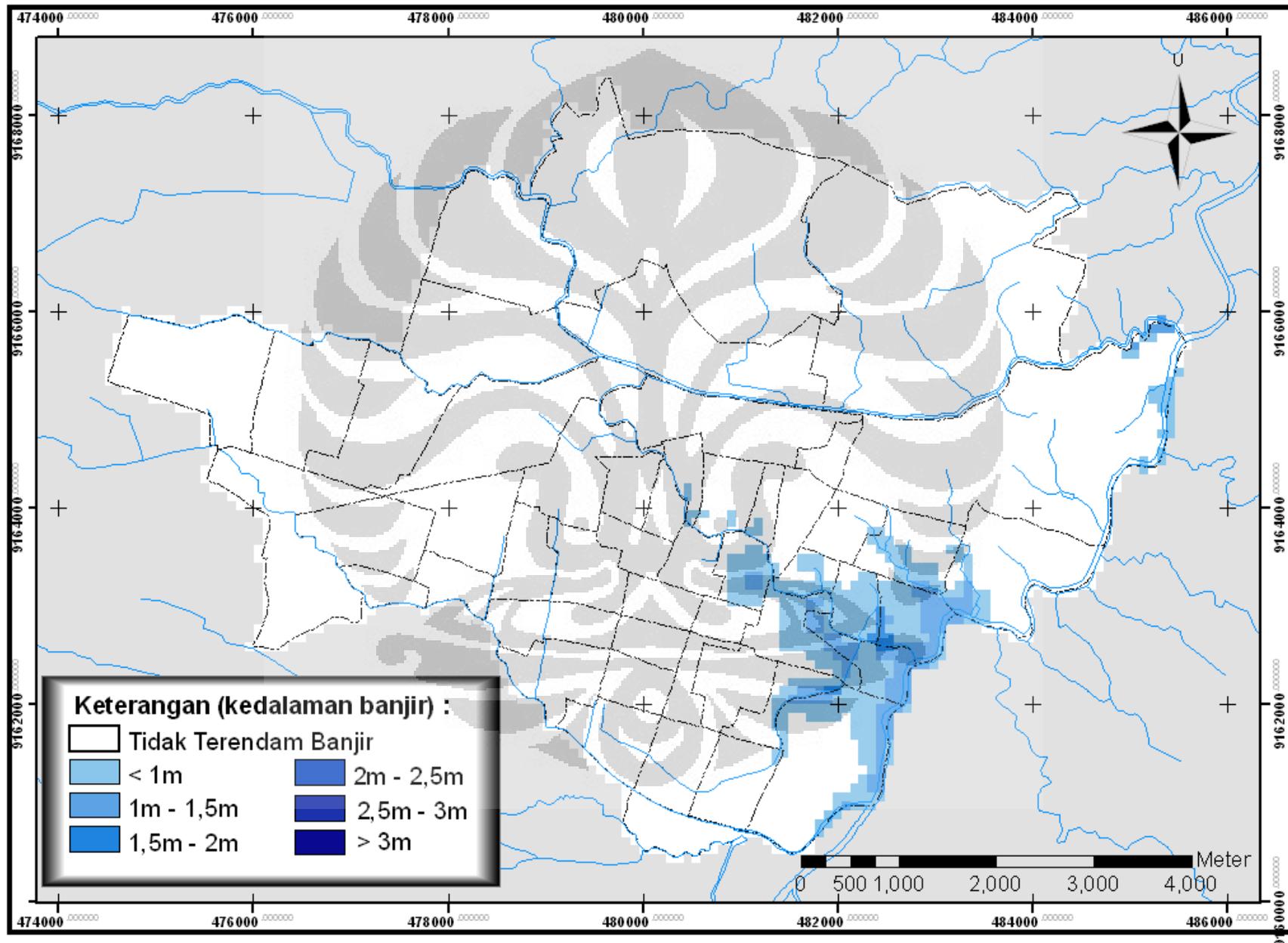
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) (Hendriyanto, Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011)

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 8,5 M



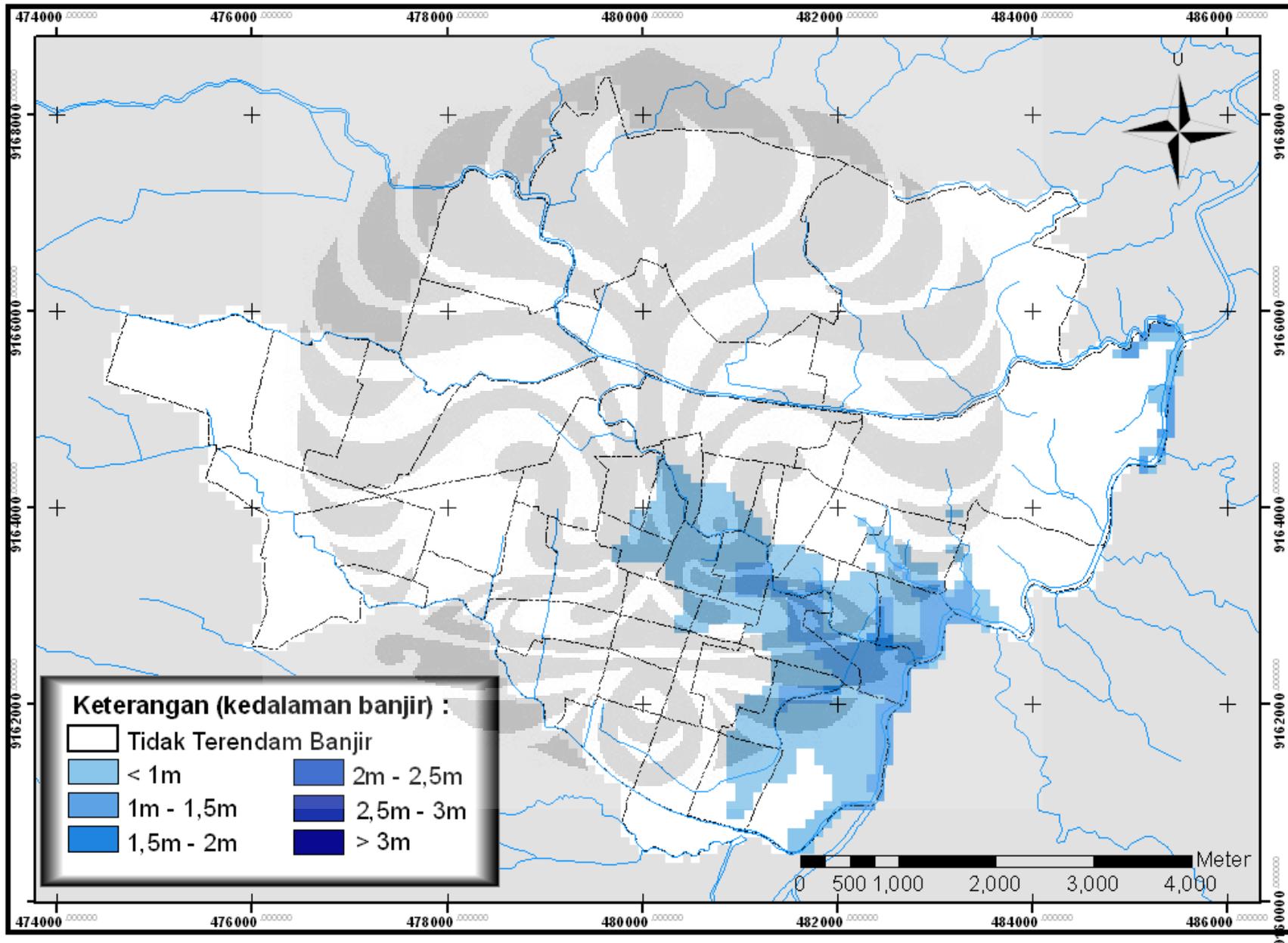
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 9 M



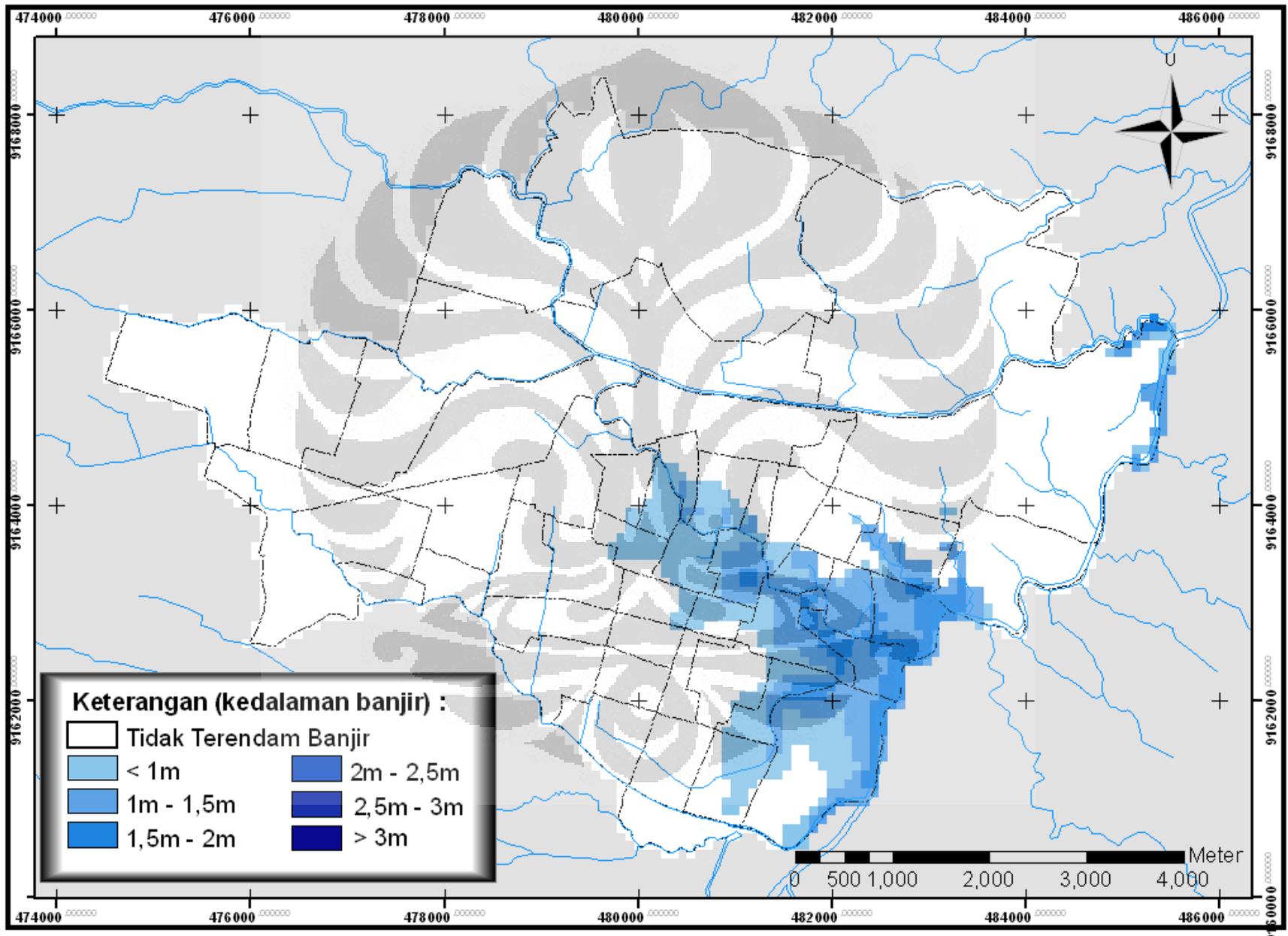
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 9,5 M



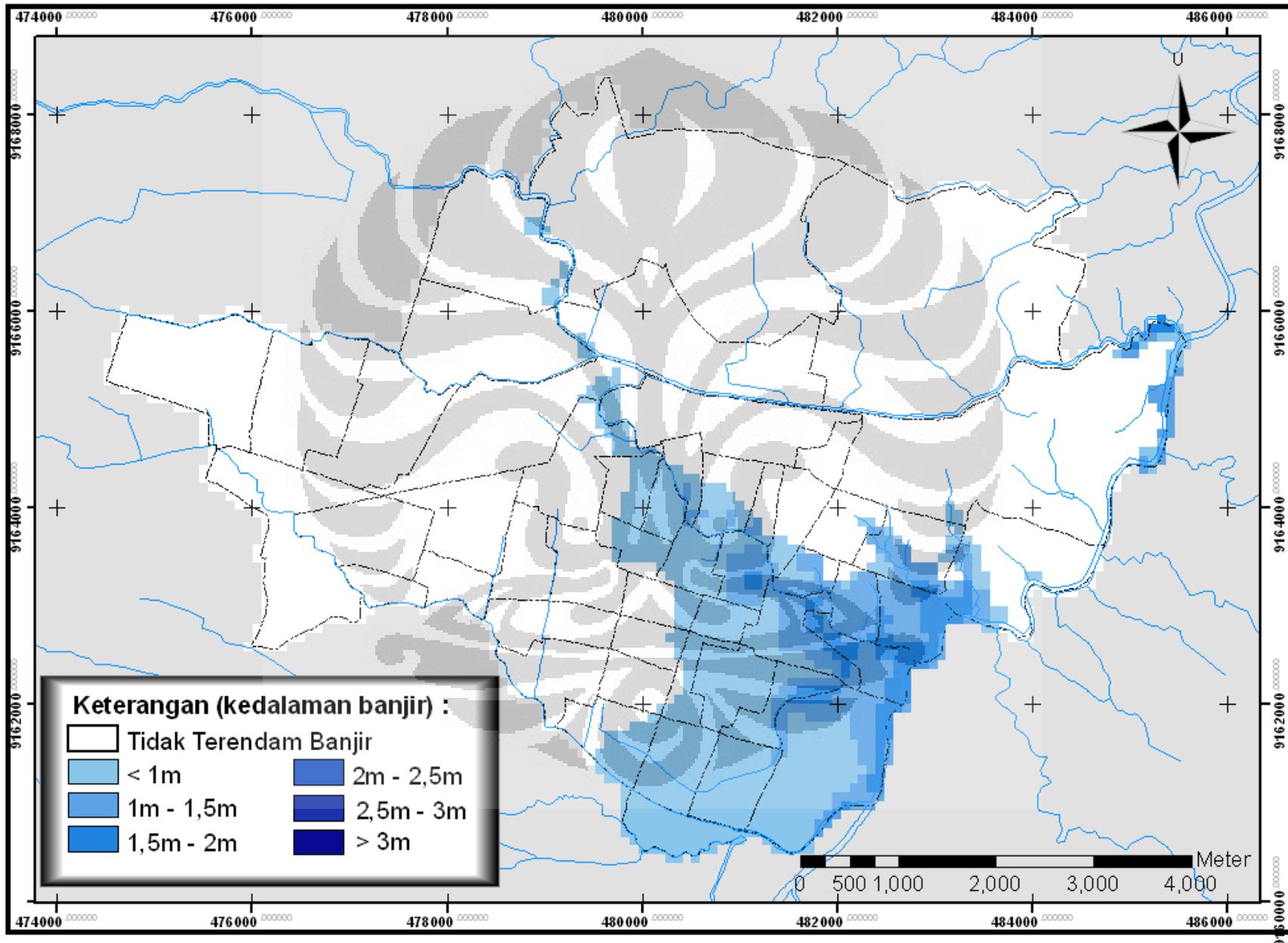
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 10 M



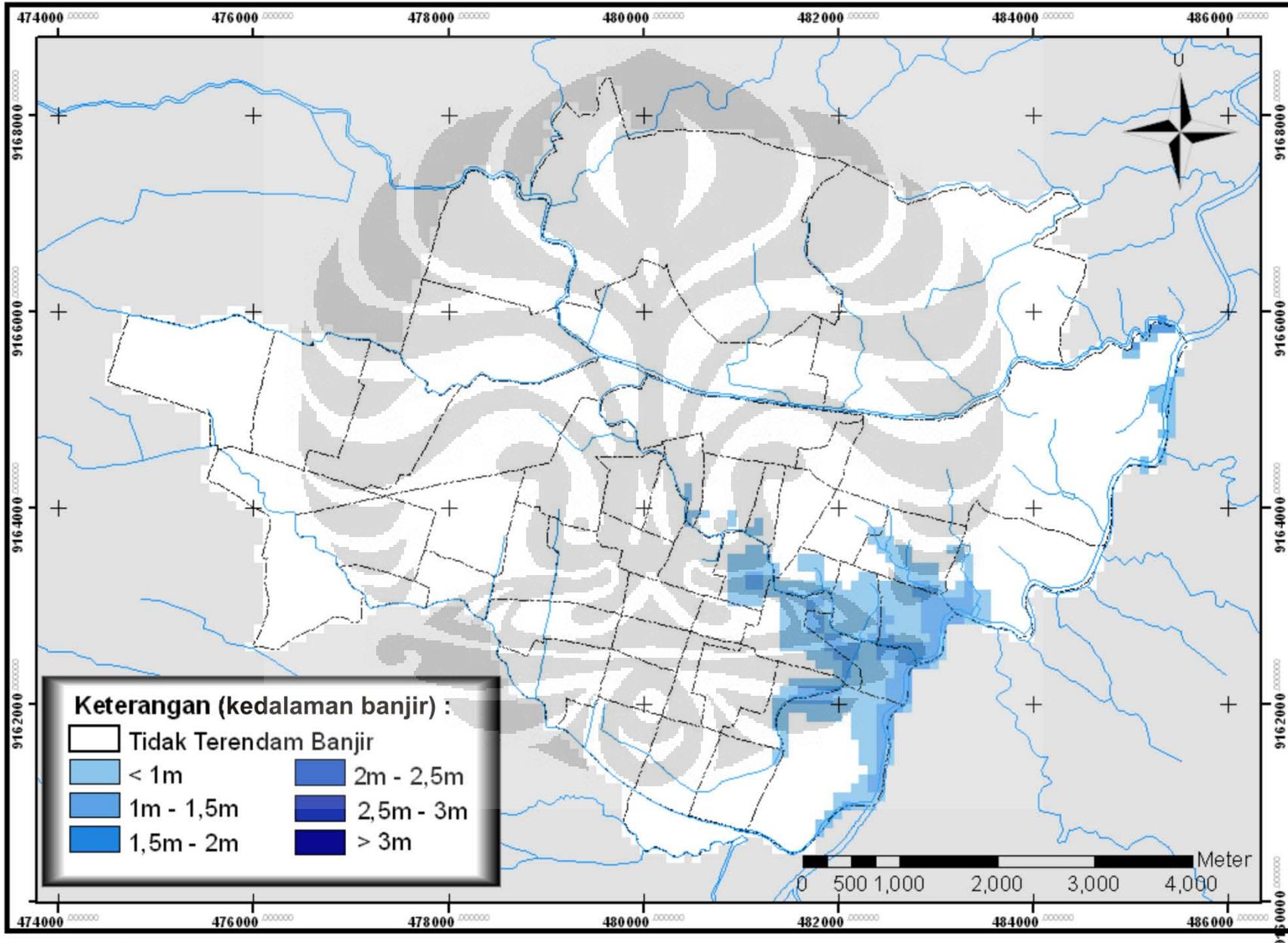
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) (Hendriyanto, Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011)

KONDISI BANJIR SAAT TINGGI MUKA AIR BENGAWAN SOLO 10,5 M



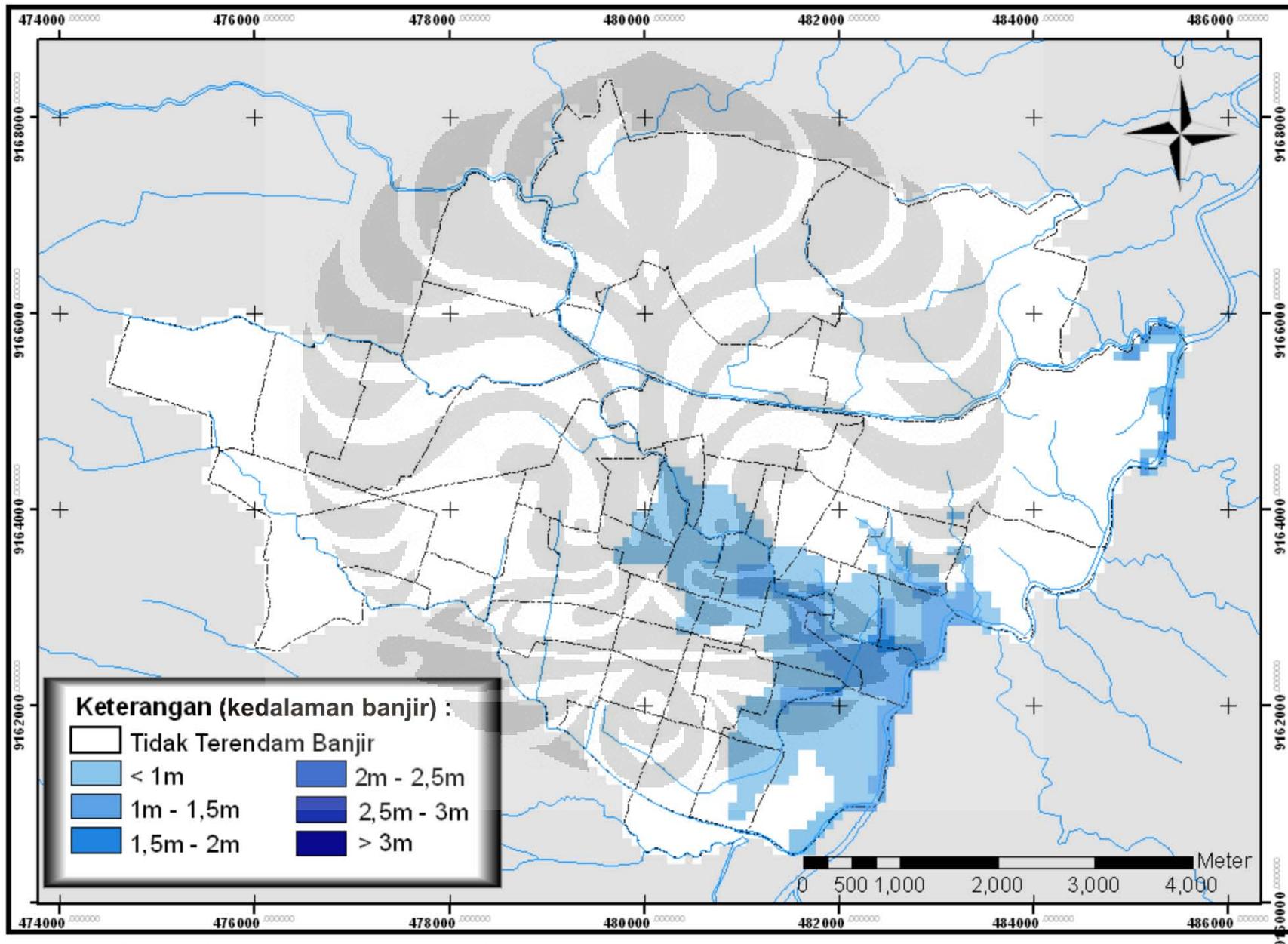
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) oleh H. Hidayat, Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

BANJIR PERIODE 5 TAHUN



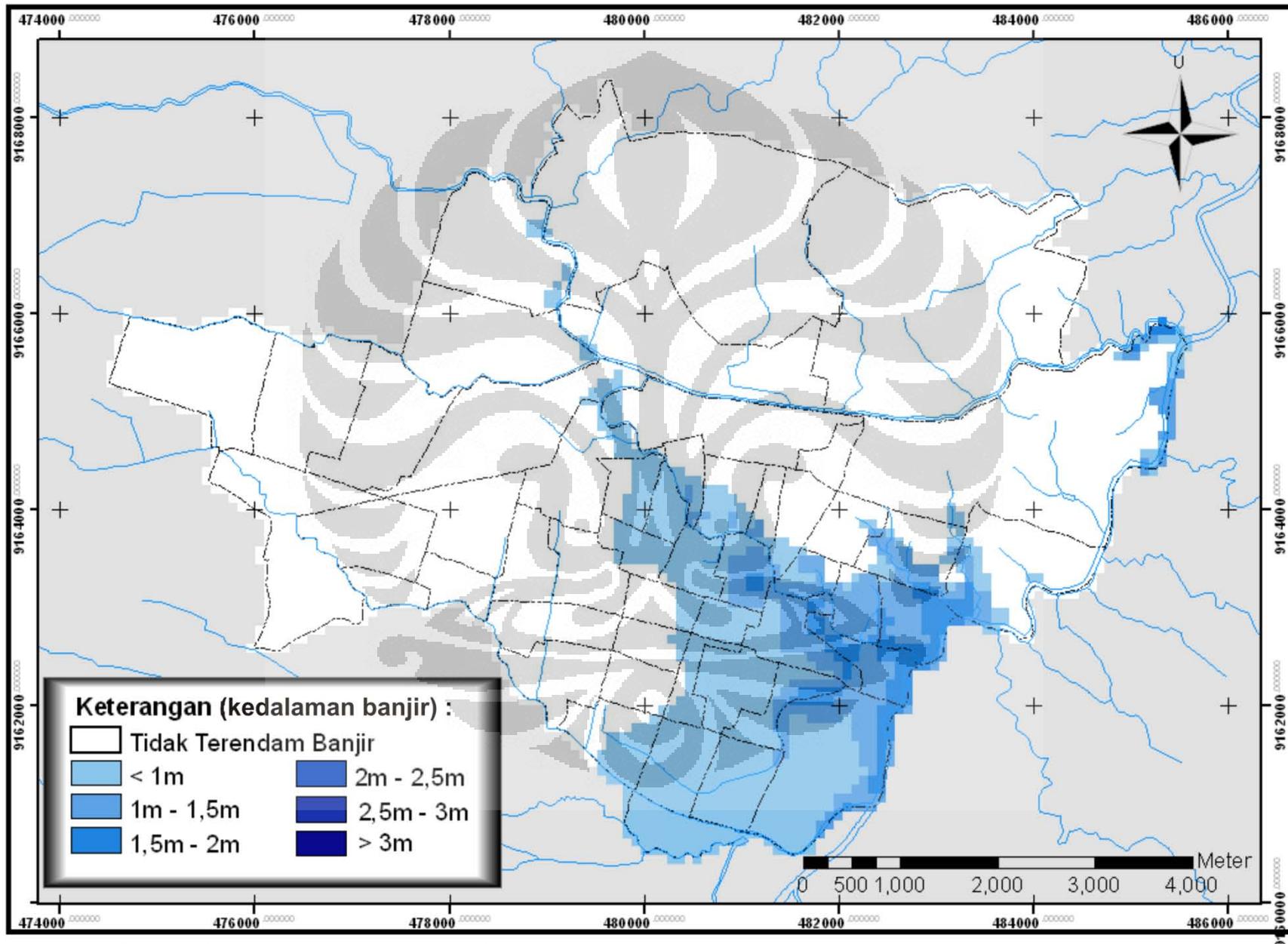
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) (Remodeling)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

BANJIR PERIODE 10 TAHUN



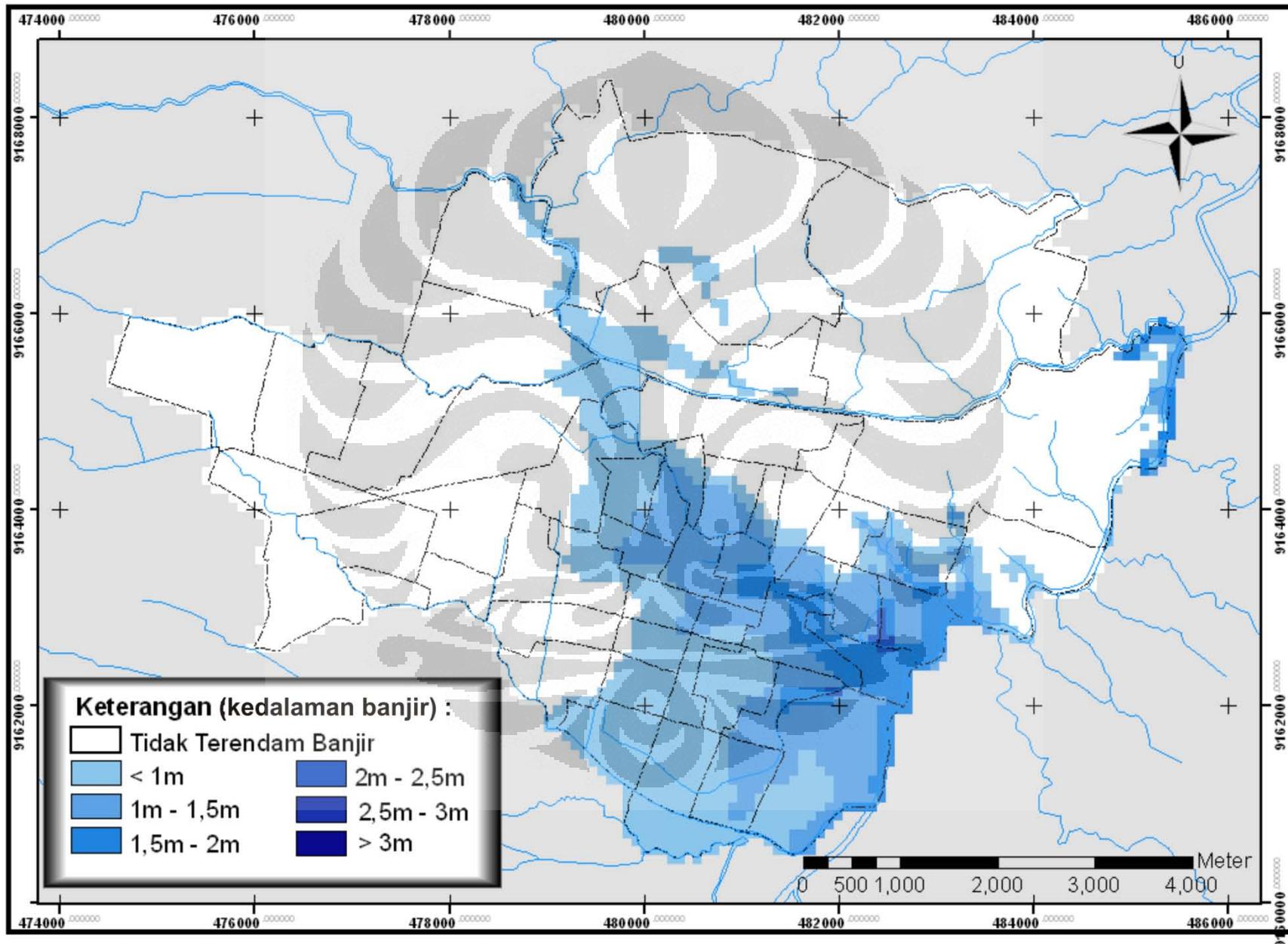
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) (Remodeling)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

BANJIR PERIODE 25 TAHUN



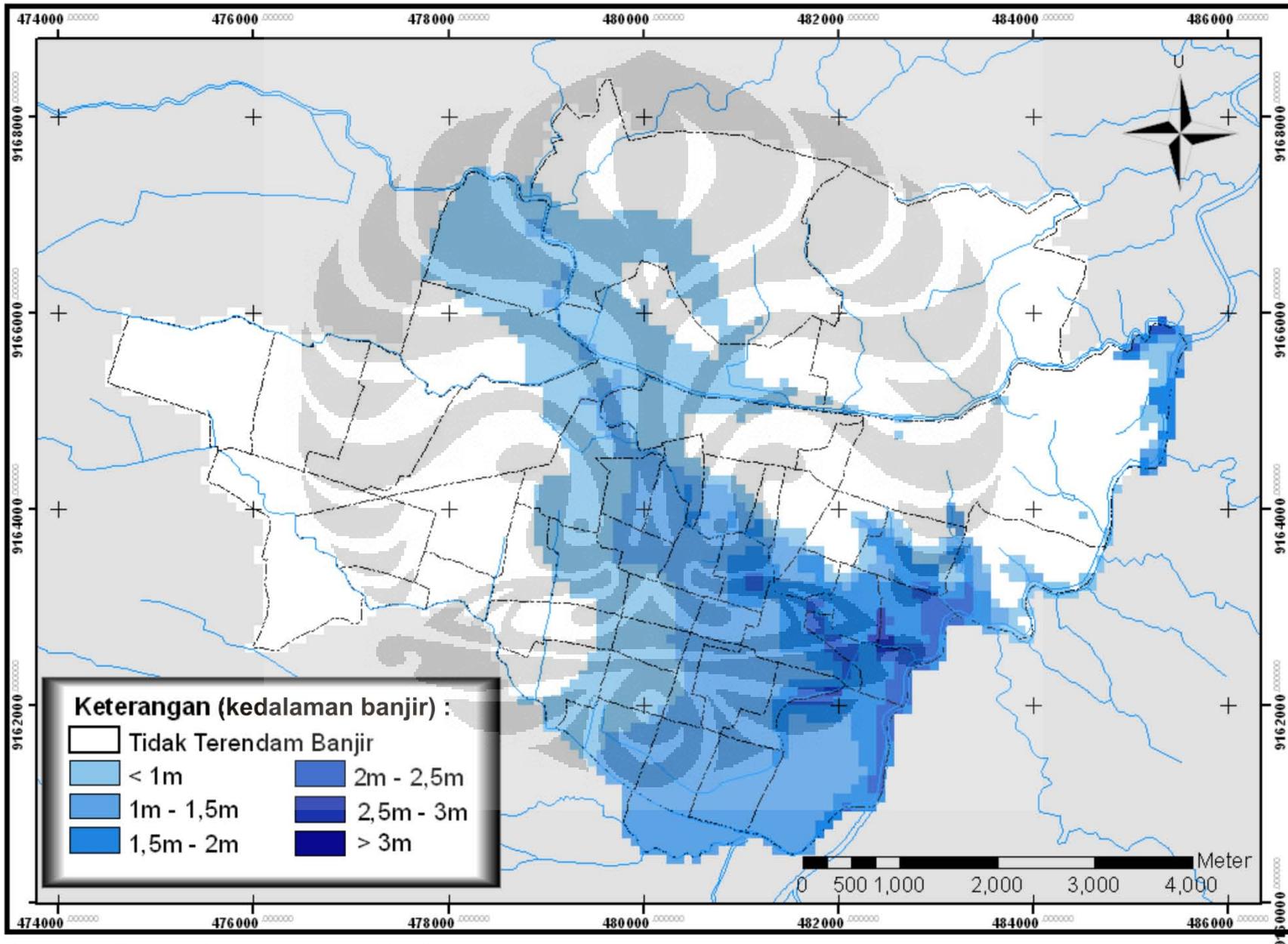
Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) oleh Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

BANJIR PERIODE 50 TAHUN



Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) (Remodeling)ayah..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011

BANJIR PERIODE 100 TAHUN



Sumber : Pengolahan data 2011 (Hasil Model) oleh..., Anindito Adi Nugroho, FMIPA UI, 2011



LAMPIRAN

Tabel Luas Wilayah dan Kependudukan Tiap Kelurahan di Kota Solo

Kelurahan	Luas Wilayah (Km ²)	Jumlah Penduduk	Tingkat Kepadatan
I. Kec. Laweyan	8.64	107622	12459
Pajang	1.55	23175	14923
Laweyan	0.25	2425	9778
Bumi	0.37	6762	18129
Panularan	0.54	9661	17759
Penumping	0.50	5561	11056
Sriwedari	0.51	4912	9575
Purwosari	0.84	13390	15884
Sondakan	0.79	12273	15634
Kerten	0.92	11409	12388
Jajar	1.06	9347	8860
Karangasem	1.30	8707	6698
II. Kec. Serengan	3.19	61945	19394
Joyotakan	0.46	8033	17501
Danukusuman	0.51	11943	23510
Serengan	0.64	12049	18827
Tipes	0.64	12779	19967
Kratonan	0.32	6346	19586
Jayengan	0.29	5840	19932
Kemlayan	0.33	4955	15015
III. Kec. PasarKliwon	4.82	85593	17776
Joyosuran	0.54	11228	20793
Semanggi	1.67	31715	19014
PasarKliwon	0.36	6963	19342
Gajahan	0.34	5031	14841
Baluwarti	0.41	7210	17715
KampungBaru	0.31	3892	12719
KedungLumbu	0.55	5128	9307
Sangkrah	0.45	11193	24763
Kauman	0.19	3233	16839
IV. Kec. Jebres	12.58	136762	10870
KepatihanKulon	0.18	3093	17674
Kepatihanwetan	0.23	3171	14093
Sudiroprajan	0.23	4806	20896

Gandekan	0.35	9611	27460
Sewu	0.49	7657	15788
PucangSawit	1.27	12865	10130
Jagalan	0.65	12431	19125
Purwodiningratan	0.37	5930	15898
Tegalharjo	0.33	6386	19649
Jebres	3.17	30377	9583
Mojosongo	5.33	40872	7670
V. Kec. Banjarsari	14.81	162708	10986
Kadipiro	5.09	35631	7003
Nusukan	2.06	29145	14127
Gilingan	1.27	21740	17091
Stabelan	0.28	4984	17993
Kestalan	0.21	4061	19524
Keprabon	0.32	3890	12233
Timuran	0.32	4527	14371
Ketelan	0.25	4366	17464
Punggawan	0.36	5301	14725
Mangkubumen	0.80	10381	13025
Manahan	1.28	13051	10196
Sumber	1.33	15788	11844
Banyuanyar	1.25	9843	7874

Sumber : Solo dalam Angka 2002

Tabel kedalaman banjir, Curah hujan, Tinggi Muka Air Bengawan Solo, Koefisien limpasan rata-rata, dan Ketinggian Tempat.

Kedalaman Banjir (cm)	Ch (mm)	Tinggi Muka Air B. Solo (m)	Koefisien Limpasan Rata²	Tinggi Tempat (m dpl)
104.00	11.44	2.06	52.65	74.54
475.58	133	10.43	52.65	74.54
462.67	5	8.33	52.65	74.54
555.17	111	9.43	52.65	74.54
437.50	24.5	7.70	52.65	74.54
285.00	0	6.12	52.65	74.54
450.00	50	9.03	52.65	74.54
371.96	3	7.30	52.65	74.54
327.08	18	5.23	52.65	74.54
364.38	77	7.77	52.65	74.54
220.56	1	3.90	52.65	74.54
335.38	29	6.72	52.65	74.54
343.13	79	6.10	52.65	74.54
353.00	26	7.23	52.65	74.54
178.17	12	5.70	52.65	74.54
356.80	24	4.26	52.65	74.54
418.77	142	8.43	52.65	74.54
349.27	50	7.92	52.65	74.54
325.50	29.5	5.90	52.65	74.54
353.40	68	6.17	52.65	74.54
300.00	133	10.43	54.27	77.19
20.00	13	2.47	54.27	83.2
100.00	133	10.43	55.22	83.2
270.00	133	10.43	52.65	76
340.00	133	10.43	52.65	77.47
80.00	133	10.43	53.28	88.05
40.00	133	10.43	57.33	90.04
35.00	133	10.43	35.45	92
30.00	133	10.43	56.945	92
80.00	133	10.43	52.65	86

Sumber : pengolahan data 2010

(untuk diregresikan)

Catatan Tinggi Muka Air di Pintu Air Sangkrah

5 Februari 08 BANJIR

JAM	DLM	LUAR	
2400	160	150	1/2
0300	310	309	
0400	380	380	
0500	425	425	
0500	445	445	
0545	450	450	
0600	455	455	
0630	465	480	3/2 JALAN
0700	475	495	DUA POMPA
0730	490	510	
0800	490	515	
0830	490	525	
0900	492	532	
0930	495	538	
1000	495	540	
1030	496	542	DISEL 3 (POMPA)
1100	496	542	
1130	498	548	
1200	496	550	DISEL 2 (POMPA)
1230	496	550	
1300	495	550	
1300	495	550	
1330	495	550	
1400	495	548	
1430	495	548	
1500	495	546	
1530	495	542	
1600	495	540	
1630	496	537	
1700	496	532	
1730	495	528	
1800	495	526	
1830	495	518	
1900	495	514	
1920	495	508	
2000	495	506	
2030	495	500	
2100	495	498	
2130	494	488	PINTU DIBUKA 4

JAM	DLM	LUAR	
2200	490	484	PINTU DIBUKA
2230	484	479	
2400	470	473	
0100	466	462	1/2
0200	448	446	
0300	438	435	
0400	428	425	
0500	415	412	
0600	402	400	
0700	390	387	
0800	385	383	
0900	364	362	
1000	350	348	
1100	340	338	
1200	326	324	
1300	308	307	
1400	295	294	
1500	285	284	
1600	275	274	
1700	265	264	
1800	260	259	
1900	256	255	
2000	253	252	
2100	255	254	
2400	242	241	

TGL	ZAM	TGG DLM	TGG LUAR	KBT
25-02-2009	08:00	170	168	
	08:30	210	209	
	09:00	250	244	
	09:30	280	278	
	20:00	299	294	
	20:30	319	318	
	21:00	350	350	
	21:30	379	379	
	22:30	409	410	Pintu di tutup
	→ 22:44	429	435	pemipa jalan bes pemipa besar 1
22:00	432	445	pemipa kecil 1	
24:00	433	460		
26-2-2009	01:00	433	469	→ ketinggian MAXIMAL
	02:00	430 3	469 0	
	03:00	428 2	461 1	
	04:00	424 1	449 15	
	05:00	420 4	425 25	
	05:30	418	415	
	→ 05:45	417	410	Pintu dibuka
	06:00	399	398	
	07:00	379	378	
	08:00	348	347	
	09:00	310	317	
	10:00	270	269	
	11:00	240	239	
12:00	200	208		
13:00	185	188		

TGL	JAM	KETEGH DALAM	KETEGH LUAR	KETERANGAN
27-12-07	08 ⁰⁰ KHS	480	490	(28 JAM JALAN)
	09 ⁰⁰ "	475	470	
	10 ⁰⁰ "	470	470	
	11 ⁰⁰ "	450	450	Jam 11.45 Hujan
	12 ⁰⁰ "	430	430	(31 JAM JALAN)
	13 ⁰⁰ "	420	420	
	14 ⁰⁰ "	410	410	
	15 ⁰⁰ "	420	420	Hujan deras 15 ⁰⁰
	16 ⁰⁰ "	435	435	
	17 ⁰⁰ "	425	425	
	18 ⁰⁰ "	425	425	Jam 18.50 Hujan deras
	19 ⁰⁰ "	415	415	
	20 ⁰⁰ "	430	430	
	21 ⁰⁰ "	440	440	
	22 ⁰⁰ "	460	460	
	23 ⁰⁰ "	520	490	
27-12-07	24 ⁰⁰ "	535	520	Pompa Besar 1 Jalan
	24 ³⁰ "	545	560	24.45. Pinta 8 tutup
28-12-07	01 ⁰⁰ "	545	570	Pompa kecil 3 Jalan
	01 ³⁰ "	547	590	
	02 ⁰⁰ "	548	610	
	02 ³⁰ "	550	625	
	03 ⁰⁰ "	550	630	
	03 ³⁰ "	550	635	
	04 ⁰⁰ "	550	645	
	04 ³⁰ "	555	645	
	05 ⁰⁰ "	555	650	
	05 ³⁰ "	555	650	
	06 ⁰⁰ "	555	650	
	07 ⁰⁰ "	555	650	
	08 ⁰⁰ "	555	647	
	09 ⁰⁰ "	555	640	
	10 ⁰⁰ "	555	640	
	11 ⁰⁰ "	555	635	
	12 ⁰⁰ "	555	630	
	13 ⁰⁰ "	550	620	
	14 ⁰⁰ "	550	610	

TGL	JAM	KETGG DLM	KETGG LUAR	KETERANGAN
28-12-07	15.00	590	610	15.30 Hujan deras
	16.00	560	610	
	17.00	565	600	
	18.00	565	595	
	19.00	565	590	
	20.00	565	580	20.00. Gekimis
	21.00	565	580	
	22.00	565	570	
	23.00	565	560	
	29-12-07	24.00 / 00.00	555	545
01.00		560	540	
02.00		550	540	
03.00		545	525	
04.00		540	520	
05.00		530	520	05.30 Hujan Gekimis
06.00		520	510	
07.00		515	500	
08.00		500	490	
09.00		495	480	
10.00		485	460	
11.00		465	460	
12.00		440	440	
13.00		440	430	
14.00		430	420	
15.00	410	405		
16.00	410	390		
17.00	375	360		
18.00	320	350		
19.00	360	340	Benangan Cctu mengurangi debit air.	
20.00	350	330		
21.00	330	320		
22.00	320	305		
23.00	310	300		
24.00	300	290		
30-12-07	01.00	295	285	
	02.00	280	275	
	03.00	280	273	

TGL	KET JAM	KETGGN DLM	KETGG LUAR	KETERANGAN	TC
30-12-07	04 ⁰⁰ WIB	280	285		31-1
	05 ⁰⁰ "	285	275		
	06 ⁰⁰ "	285	275		
	07 ⁰⁰ "	280	270		
	08 ⁰⁰ "	275	265		
	09 ⁰⁰ "	270	265		
	10 ⁰⁰ "	265	260		
	11 ⁰⁰ "	260	255		
	12 ⁰⁰ "	255	250		
	13 ⁰⁰ "	250	245		
	14 ⁰⁰ "	250	240	Hujan Ber.m.s 14.00	
	15 ⁰⁰ "	250	240		
	16 ⁰⁰ "	250	240		
	17 ⁰⁰ "	250	245		
	18 ⁰⁰ "	245	240		
	19 ⁰⁰ "	250	240	19.30 Hujan BERAS	
	20 ⁰⁰ "	260	250		
	21 ⁰⁰ "	280	260		
	22 ⁰⁰ "	310	300		
	23 ⁰⁰ "	340	320		
	23 ³⁰ "	370	350		
	24 ⁰⁰ "	380	365		
	24 ³⁰ "	405	390		
31-12-07	01.00	430	415		
	02.00	450	450	Jam 02.00 Pntv 85 kshup	
	03.00	450	480	Pompa Jalan / Besar I	
	03.30	450	490		
	04.00	445	500		
	04.30	445	510		
	05.00	447	515		
	06.00	447	525		
	07.00	455	535		
	08.00	455	540		
	09.00	457	540		
	10.00	460	543		
	11.00	460	535		
	12.00	455	530		

TGL	JAM.	KETGGN DLAM	KETGGN LUAR	KETERANGAN	
31-12-07	13 ⁰⁰	458.	530.-		
	14 ⁰⁰	458.	520.-		
	15 ⁰⁰	458.	510.-	GERIMIS.	
	16 ⁰⁰	450.	505.-		
	17 ⁰⁰	450.	505.-		
	18 ⁰⁰	450.	485 485-		
	19 ⁰⁰	450.	480.-		
	20 ⁰⁰	450.	480.-		
	21 ⁰⁰	445.	480.-		
	22 ⁰⁰	445.	475.-		
	23 ⁰⁰	440.	475.-		
	24 ⁰⁰	440.	465.-		
	1-Jan-08	01 ⁰⁰	435.	460.-	
		02 ⁰⁰	435.	450.-	Mendung.
03 ⁰⁰		435.	450.-		
04 ⁰⁰		425.	440.-		
05 ⁰⁰		425.	435.-		
06 ⁰⁰		420.	425 425-		
07 ⁰⁰		415.	415.-		
08 ⁰⁰		405.	405.-		
09 ¹⁵		405.	400.-	PINTU DIPUKA	
09 ⁰⁰		400.	390.-	MESIN MATI	
10 ⁰⁰		390 390	370.-	(34 JAM JALAN)	
11 ⁰⁰		385.	370.-		
12 ⁰⁰		375.	350.-		
13 ⁰⁰		365.	350.-		
14 ⁰⁰		355.	340.-		
15 ⁰⁰		345.	330.-		
16 ⁰⁰		330.	315.-		
17 ⁰⁰		320.	310.-		
18 ⁰⁰		310.	305.-		
19 ⁰⁰		305.	300.-		
20 ⁰⁰		300.	285.-		
21 ⁰⁰		290 295.	280.-		
22 ⁰⁰		280.	275.-		
23 ⁰⁰		275.	270.-		
24 ⁰⁰	270.	265.-			

FEBRUARI 2008

TGL	JAM	KETE DLM	KETE LUAR	KETERANGAN
04	18.00	215	205	
02	18.30	215	205	
2008	19.00	255	255	
	19.30	255	255	
	20.00	295	295	
	20.30	330	335	
	21.00	355	355	
	21.30	375	375	
	22.00	395	395	PINTU AIR DITUTUP
	22.30	400	400	POMPA JALAN 1 7/8 BESAR
	23.00	400	410	
	23.30	397	430	
05	24.00	395	445	
02	24.30	393	455	
2008	01.00	390	470	
	01.30	388	475	
	02.00	385	485	
	02.30	383	485	
	03.00	380	490	
	03.30	380	490	
	04.00	375	490	PINTU
	04.30	375	490	
	05.00	370	490	
	05.30	370	488	
	06.00	368	485	
	07.00	365	475	
	08.00	360	470	
	09.00	355	455	
	10.00	350	440	
	11.00	350	430	POMPA KECIL JALAN II.
	12.00	345	415	
	13.00	355	390	
	14.00	355	385	
	15.00	353	365	
	16.00	350	345	PINTU DI BUKA : POMPA MATI
	17.00	330	325	
	18.00	310	305	

MARET, 2008

TGL	JAM	KETG. DLM	KETG. LUAR	KETERANGAN	
02-03-08	16.30	50	20	Hujan, BERIMIS	
	19.00	105	160		
	20.00	145	145		
	21.00	190	193		
	22.00	250	255		
	22.30	285	290		
	23.00	300	305		
	23.30	300	315		
	03-03-08	24.00	350		355
		00.30	360		365
01.00		375	376		
01.30					
02.00		390	390		
02.30					
03.00		395	395		
04.00		395	395		
05.00		390	388		
06.00		380	377		
07.00		375	375		
08.00		360	355		
09.00		350	345		
10.00	310	300			
11	290	285			
12	260	255			
14.30	215	210			
15.30	205	202			
16.00	205	200			
17.00	275	250			
17.30	315	300			
18	310	300			
19.00	300	290			
20.00	300	295			
21.00	335	333			
21.30	365	365			
22.00	400	400	GENJET HIDUP PERSIAPAN		
22.30	425	420	POMPA BESAR JALAN No 2.		
23	440	445			

TGL	JAM	FBT DAKAM	FBT LUAR	FETERANJAU
21-03-2008	17.00	225	210	
	18.00	250	245	
	19.00	280	278	
	20.00	345	345	
	21.00	375	375	
	22.00	420	420	
	23.00	425	440	
	24.00	425	460	
	01.00	425	475	
	02.00	425	480	
22-03-2008	03.00	425	480	
	04.00	425	480	
	05.00	425	470	
	06.00	420	460	
	07.00	420	495	
	08.00	415	475	
	09.00	415	410	
	10.00	405	390	PINTU DI BUKA
	11.00	375	370	
	12.00	355	350	
	13.00	330	325	
	14.00	310	305	
	15.00	275	270	
	16.00	275	275	
	17.00	265	263	
	18.00	265	264	
19.00	255	253		
20.00	255	254		
21.00	255	254		
22.00	255	254		
23.00	255	254		
24.00	255	254		
23-03-2008	06.00	245	245	
	08.00	195	193	
	10.00	165	162	
	12.00	155	150	
	14.00	150	145	
	16.00	170	168	

PINTU AIR DITUTUP
POMPA BESAR PINDUPEAN

PINTU AIR DITUTUP

PINTU DI BUKA

Tg	JAM	Tg DLM	TgG. WAR	Ket
30.01.09	19:00	155	150	
	20:00	220	218	
	21:00	300	299	
	21:15	330	329	
	21:30	350	349	
		385	384	
		410	409	
	→ 22:45	455	450	Pompa JALAN
	23:00	470	480	
	00:00	485	520	
30-01-09	01:00	495	573	
	02:00	500	600	
01-02-09	03:00	505	620	→ Top. Luar
	04:00	514	627	
	05:00	520	619	
	06:00	524	605	
	07:00	525	589	
	08:00	528	565	
	09:00	529	540	→ Tep. dlm.
	09:30	527	530	
	→ 10:00	528	520	Pintu dikunci / Pompa dimatikan
	10:30			
11:00	505	500		
12:00	478	475		
13:00	448	445		
14:00	314	310		
15:00	284	280		
16:00	350	328		
17:00	314	310		
18:00	270	267		
19:00	230	226		
20:00	185	182		
21:00	160	157		

tgl	JAM	tg9 DLM	tg9 LUAR	ket
18-2-2009	01.00	378	379	pintu di tutup
	→ 02.00	400	405	pompa jaler
	03.00	390	458	
	04.00	390	480	→ top dlm
	05.00	388	500	
	06.00	385	505	
	07.00	380	509	→ Top luar
	08.00	380	505	
	09.00	384	499	→ top dlm
	10.00	580	495	
	11.00	378	481	
	12.00	374	470	
		380	468	
	12.30	370	455	
	13.00	370	444	
	13.30	366	435	
	14.00	360	430	
	→ 14.30	369	410	pompa di matikan
	15.00	372	400	
	15.00	385	385	PINTU di buka
	16.17	370	368	
	17.00	345	344	
	18.00	320	319	
	19.00	280	289	
	20.00	270	269	
	21.00	240	239	
	22.00	222	221	
	23	210	209	

Tabel Perhitungan Rumus Log Pearson Tipe III

Tahun	Tinggi Muka Air Sungai	Log X	$(\text{Log X} - \text{Log } X_{\text{rata-rata}})^2$	$(\text{Log X} - \text{Log } X_{\text{rata-rata}})^3$
2000	8.1667	0.912045	0.001918	8.40159e-05
2001	6.4333	0.808436	0.003577	-0.00021396
2002	7.4667	0.873127	2.38e-05	1.16207e-07
2003	7.2500	0.860338	6.26e-05	-4.947e-07
2004	6.9000	0.838849	0.000864	-2.5406e-05
2005	5.4667	0.737723	0.017037	-0.00222369
2006	6.3333	0.801632	0.004437	-0.0002956
2007	10.4300	1.018284	0.022511	0.003377528
2008	9.2000	0.963788	0.009128	0.000872105
Jumlah	67.6467	1.830246	0.05956	0.001574611
Rata	7.5163	0.868247		
Std Dev	0.0863			