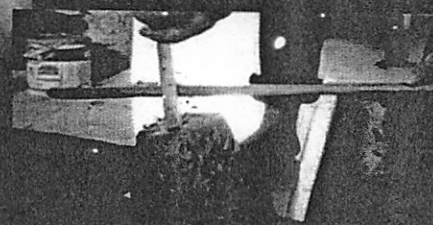


# JURNAL

## TEKNIK SIPIL PERENCANAAN



**PENGGUNAAN BATU PUTIH  
SEBAGAI PENGGANTI  
AGREGAT KASAR  
DENGAN BAHAN TAMBAH  
FLY ASH DAN SIKAMEN-520  
PADA CAMPURAN BETON**



**PENGENDALIAN BANJIR  
SUNGAI GARANG  
MELALUI UPAYA PENINGKATAN  
ELEVASI MERCU TANGGUL,  
PENAMPANG BASAH SUNGAI  
DAN PENGURANGAN  
DEBIT BANJIR**

# PENGENDALIAN BANJIR SUNGAI GARANG MELALUI UPAYA PENINGKATAN ELEVASI MERCU TANGGUL, LUAS PENAMPANG BASAH SUNGAI DAN PENGURANGAN DEBIT BANJIR

Yeri Sutopo

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang (UNNES)  
Gedung E4, Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229, Telp. (024)-8508102 email: yerg3g@yahoo.com

**Abstract:** The purposes of this research were (1) to explain the ability of Garang river existing condition to flood control at the 100 years flood return period ( $Q_{100}$ ); (2) to find out the proportional and combination simultaneously efforts (technically) on flood control at Garang river that can anticipate overtopping at both, westside and eastside of the river, due to its 100 years flood return period. This research had use the secondary data analysis method. Data collecting were Garang river water level elevation at Panjang (AWLR), river cross section, Simongan weir cross section, along river, figures of AWLR instrument site and TTG level at Panjang, also data about tidal elevation at Garang river estuary. The data manually compiled, furthermore by DUFLOW. The result of this research were: (1) Garang river didn't have any ability to control water level elevation at 100 years flood return period ( $Q_{100}$ ), the dam along Menoreh and Panjang to the North of Tanah Mas housing has flood run-off; (2) an effort by raising the dam crest elevation of Garang river in the amount of 20% from existing; increase river channel cross section damp area in the amount of 30% from existing; and decrease the 100 Years ( $Q_{100}$ ) plan discharge in the amount of 50% technically has the maximal influence about damping of the flood water level elevation.

**Keywords:** flood control, garang river, duflow

**Abstrak:** Tujuan penelitian ini adalah (1) Menjelaskan kemampuan Sungai Garang pada kondisi eksisting dalam meredam banjir pada kala ulang banjir 100 tahunan ( $Q_{100}$ ); (2) Menemukan proporsi kombinasi upaya pengendalian banjir (teknis) secara simultan yang mampu mengatasi terjadinya limpasan di atas tanggul sebelah Barat maupun Timur (*over topping*) karena debit banjir 100 tahunan ( $Q_{100}$ ) di Sungai Garang. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis data sekunder. Data yang dihimpun adalah elevasi muka air sungai Garang di Panjang (AWLR), tampang sungai, tampang bendung Simongan, tampang memanjang sungai, gambar letak instrumen AWLR dan ketinggian TTG di Panjang, serta elevasi pasang surut di Muara Sungai Garang. Data-data itu dikompilasi secara manual, yang selanjutnya dimodelkan dengan aplikasi DUFLOW. Hasil penelitian ini adalah: (1) Sungai Garang tidak mempunyai kemampuan dalam meredam elevasi muka air banjir, tanggul di sepanjang Menoreh dan Panjang sampai dengan ujung Utara Perumahan Tanah Mas terlampaui oleh Banjir, (2) upaya peningkatan elevasi mercu tanggul Sungai Garang sebesar 20% dari kondisi eksisting; peningkatan luas penampang basah sebesar 30% dari kondisi eksisting; dan pengurangan debit rencana seratus tahunan ( $Q_{100}$ ) sebesar 50% secara teknis mempunyai pengaruh paling maksimal terhadap peredaman elevasi muka air banjir.

**Kata kunci:** pengendalian banjir, sungai garang, duflow

## PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Garang terletak di Propinsi Jawa Tengah, mengalir dari selatan daerah yang berbukit dan bergunung ke dataran *alluvial* pantai utara. Sungai Garang membelah Kota Semarang menjadi dua daerah, yaitu di sisi barat dan di sisi timur sungai..

Secara geografis DAS Garang membentang dari 110° 15' Bujur Timur (BT) sampai 110° 15' BT dan 6° 57' Lintang Selatan (LS) sampai 7° 12' LS. Hulu Sungai Garang yakni daerah selatan terdiri dari daerah perbukitan gunung api *quarter*, agak ke tengah terdiri dari perbukitan gunung api *pleistoen*, endapan gamping berbukit, dan di bagian bawah (*down stream*)

terdiri dari dataran alluvial. Secara hidrologi bentang lahan bagian atas dan tengah merupakan resapan yang cukup potensial.

Sungai Garang mempunyai luas DAS 240 km<sup>2</sup> dan panjangnya 32 km. Sungai Garang berhubungan dengan dua anak sungai yakni Sungai Kreo dan Sungai Kripik. Pada hilir Sungai Garang terdapat Bendung Simongan, yang berfungsi untuk menaikkan muka air guna kebutuhan air baku Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan pengglontoran drainase kota. Sungai Garang juga berhubungan dengan Banjir Kanal Barat yang letaknya di hilir Bendung Simongan. DAS Garang mempunyai curah hujan antara 2000 mm sampai dengan 3000 mm (BMG, 1995). Curah hujan tertinggi terdapat pada bulan Januari, sedangkan musim penghujan mulai bulan November dan berakhir pada bulan April (Bappeda Jateng, 1997).

Pada dasarnya, kegiatan pengendalian banjir meliputi: (1) mengenali besarnya debit banjir, (2) mengisolasi daerah genangan banjir, dan (3) mengurangi elevasi air banjir. Pekerjaan pokok dalam pengendalian banjir secara umum dapat dibagi menjadi pembangunan sistem pengamanan dan pengendalian banjir, serta pekerjaan non-sipil. Pekerjaan sipil adalah usaha pengendalian banjir dengan suatu sistem pengamanan banjir yang terdiri dari tanggul, normalisasi alur sungai termasuk sudetan, *retarding basin*, dan waduk. Upaya atau usaha yang telah disebut bersifat represif. Berbagai upaya itu pada umumnya tidak berdiri sendiri, namun merupakan kombinasi dari beberapa jenis yang secara keseluruhan membentuk satu sistem pengendalian banjir. Pekerjaan sipil sepenuhnya akan mampu menjamin pencegahan bahaya banjir pada tingkat di bawah debit banjir rencana, akan tetapi tidak

mampu mencegah banjir yang melampaui debit rencana.

Banjir di Sungai Garang, nampaknya tidak dapat diatasi hanya dengan upaya menurunkan elevasi muka air banjir, mengisolasi banjir, atau mengurangi debit banjir secara parsial. Banjir di Sungai Garang dapat ditekan sekecil mungkin peluang kejadiannya, jika upaya pengendaliannya dilakukan secara terpadu, artinya merupakan kombinasi dari beberapa upaya sekaligus secara simultan.

Dengan demikian permasalahan yang mendasar dalam pengendalian banjir di Sungai Garang adalah (1) bagaimanakah kemampuan Sungai Garang kondisi eksisting dalam meredam banjir pada kala ulang banjir 100 tahunan ( $Q_{100}$ ); (2) berapakah proporsi kombinasi upaya pengendalian banjir (teknis) secara simultan yang mampu mengatasi terjadinya limpasan di atas tanggul sebelah Barat maupun Timur (*over topping*) karena debit banjir 100 tahunan ( $Q_{100}$ ) di Sungai Garang?; (3) bagaimanakah urutan prioritas diantara beberapa proporsi kombinasi upaya pengendalian banjir (teknis) secara simultan itu dalam kemampuannya meredam elevasi muka air banjir karena debit banjir 100 tahunan ( $Q_{100}$ ) di Sungai Garang?

## TINJAUAN PUSTAKA

### Daerah Aliran Sungai (DAS) Garang

Curah hujan tahunan di DAS Garang mulai dari hilir sampai dengan hulu berkisar antara 2.000 mm/tahun sampai dengan 3000 mm/tahun. Curah hujan minimal pada umumnya terjadi pada bulan Juni dan Juli, sedangkan curah hujan maksimal pada umumnya terjadi pada bulan Desember dan Januari. DAS Garang sebagian besar berada di sisi Utara

Gunung Ungaran yang tidak terlalu luas, sehingga terjadinya curah hujan maksimal hampir bersamaan di seluruh DAS.

Kelembaban udara pada umumnya relatif tinggi, berkisar antara 70% dan 80% yang reratanya sekitar 79%. Kecepatan angin rata-rata setiap tahun 6 m/dt dengan perubahan arah secara umum terjadi dua kali dalam satu tahun. Perubahan arah angin secara mendadak sering terjadi meskipun hanya dalam waktu yang relatif pendek. Pada musim hujan yaitu bulan Desember dan Januari sinar matahari sebesar 48%, sementara itu pada musim kemarau berkisar antara 82%-86% yang terjadi pada bulan Juni dan Juli. Evaporasi rata-rata tiap tahunnya sebesar 1.500 mm.

Sungai Garang sebelum dibuatkan Bendung Simongan mengalir melewati tengah-tengah Kota Semarang, lazimnya disebut sebagai Kali Semarang. Pembuatan Bendung Simongan bertujuan untuk mengalirkan air banjir yang datang dari hulu mengalir ke laut melalui Banjir Kanal Barat yang pada waktu itu masih berada di tepian kota; sedangkan kali Semarang yang mengalir di dalam kota difungsikan sebagai drainase dan pengglontoran. Pada saat ini akibat perkembangan Kota Semarang yang jumlah penduduknya mencapai 1,13 juta jiwa, serta kepadatan rata-ratanya mendekati 3015 jiwa/km<sup>2</sup> sementara luas daerahnya hanya 373,67 km<sup>2</sup>, mengakibatkan seluruh bagian hilir Sungai Garang termasuk Banjir Kanal dan sebagian dari bagian tengah mengalir melalui Kota Semarang (Bintoebi dan Sulam, 1997).

Sungai Garang mempunyai sifat aliran banjir yang deras dan singkat yakni waktu konsentrasi sekitar 3 jam sampai dengan 5 jam. Pada tanggal 26 Januari 1990 telah terjadi banjir bandang yang menimbulkan bencana, debit

banjir saat itu sebesar 1540 m<sup>3</sup>/dt. Banjir sebesar ini tidak mampu ditampung oleh sungai sehingga terjadi luapan yang melimpas di atas tanggul. Kerugian yang diderita oleh masyarakat diperkirakan sebesar 8,5 milyar rupiah di samping mengakibatkan korban manusia.

### Usaha Pengendalian Banjir

Pada dasarnya kegiatan pengendalian banjir meliputi mengenali besarnya debit banjir, mengisolasi daerah genangan banjir, dan mengurangi elevasi air banjir. Menurut Gayo (1994) bahwa pekerjaan pokok dalam pengendalian banjir secara umum dapat dibagi menjadi pembangunan sistem pengamanan dan pengendalian banjir, serta pekerjaan non-sipil.

Pekerjaan sipil adalah usaha pencegahan bahaya banjir dengan suatu sistem pengaman banjir yang terdiri dari tanggul, normalisasi alur sungai termasuk sudetan, *retarding basin*, dan waduk pengendalian banjir. Pekerjaan sipil sepenuhnya akan mampu menjamin pencegahan bencana banjir pada tingkat di bawah debit banjir rencananya, akan tetapi tidak akan mampu mencegah banjir besar yang melampaui debit itu.

Pekerjaan non-sipil adalah usaha-usaha guna mengurangi kerusakan sampai pada tingkat yang paling minimal dengan cara mengarahkan genangan pada daerah yang tidak penting, mengadakan pemberitahuan dini, dan mencegah terjadinya tanah longsor. Langkah-langkah lainnya adalah berupa pengaturan penggunaan lahan di bantaran sungai, mendirikan bangunan yang tahan terhadap genangan air, dan asuransi akibat banjir.

Pengendalian banjir dapat dilakukan melalui beberapa upaya yakni mengurangi tinggi

debit puncak, pemindahan aliran sungai (sudetan), dan membuat waduk-waduk kecil di hulu sungai. Pengurangan tinggi debit banjir dapat dilakukan dengan cara penghijauan daerah hulu, sebaiknya dengan tanaman yang bermanfaat sehingga dapat memberikan inkam penduduk setempat, antara lain karet dan mengusahakan konservasi lahan pertanian. Perubahan penggunaan lahan dari tegalan dan kebun campuran ke perkebunan tanaman keras diduga akan menurunkan *Curve Number* (CN), sehingga debit puncak banjir dapat diturunkan (Bappeda, 1997).

Jika penanganan debit puncak dirasa kurang efektif, maka penggunaan waduk-waduk di daerah pegunungan atau rawa-rawa di dataran merupakan pilihan yang lain. Pembuatan waduk atau bendungan berukuran kecil di hulu sungai dapat bermanfaat menurunkan debit puncak serta sebagai konservasi air. Air yang seharusnya mengalir pada musin hujan dapat ditahan sebagian sehingga tidak mengalir secara berlebihan. Air ini dapat digunakan untuk mengairi lahan kering pada musim kemarau.

#### CARA PENELITIAN

Penelitian ini mengkaji aspek fisik sungai secara hidraulika; kemudian hasil dari perhitungan yang berupa informasi elevasi muka air, debit dan kecepatan air sungai digunakan untuk menentukan beberapa alternatif pengendalian banjir. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis data sekunder. Data yang dihimpun adalah elevasi muka air sungai Garang di Panjangan (AWLR), tampang sungai, tampang Bendung Simongan, tampang memanjang sungai, gambar letak instrumen AWLR dan ketinggian

TTG di Panjangan, serta data elevasi pasang surut di muara sungai Garang. Data itu tersedia di beberapa instansi, antara lain Bappeda Propinsi, Dinas PU Propinsi Jawa Tengah, BMG Propinsi Jawa Tengah, dan Dinas PU Pemerintah Kota Semarang. Data-data itu dikompilasi secara manual, yang selanjutnya dimodelkan dengan aplikasi *DUFLOW*.

Penelitian ini tidak memodelkan sepanjang Sungai Garang yang dimulai dari mata air atau di Ungaran, karena perbedaan elevasi antara hulu dan hilir sangat besar. Aliran yang terjadi karena perbedaan elevasi dasar sungai yang besar adalah *super kritik*. Kondisi aliran super kritik bertentangan dengan asumsi yang dikonstruksi oleh program *DUFLOW* yakni sub kritik. Oleh karena itu, sungai yang dimodelkan di dalam *DUFLOW* dimulai dari posisi instrumen AWLR di Panjangan yang merupakan sungai induk (*main stream*) sampai dengan di muara sungai yakni di ujung Banjir Kanal Barat. Kemiringan dasar sungai antara penggal di Panjangan sampai dengan Bendung Simongan sangat landai. Kemiringan antara Bendung Simongan dan muara Banjir Kanal Barat, meskipun curam, masih dapat diakomodasi oleh program ini.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang berupa peta topografi, peta DAS Garang, data elevasi muka air sungai (AWLR), debit sungai, persamaan lengkung debit, penampang memanjang sungai (*longitudinal*), dan penampang sungai (*cross section*). Di samping itu, dibutuhkan bahan untuk pembuatan grafik, tabel dan peta. Peralatan yang digunakan terutama adalah perangkat lunak pengolah data numerik (*spread sheet*) dalam hal ini adalah *EXCEL*, perangkat lunak *Corel Draw*, *scanner*, serta *printer*.

Pada penelitian ini digunakan hidrograf debit fungsi waktu ekstrim (nilai batas hulu) antara tahun 1994 sampai dengan tahun 1999. Ada 6 hidrograf banjir yang ekstrim, kemudian dipilih yang paling mendekati waktu konsentrasi DAS Garang ( $t_c$ ). Nilai ( $t_c$ ) untuk DAS Garang adalah 183 menit, sehingga hidrograf yang sesuai adalah tahun 1997. Hidrograf hilir yakni elevasi tinggi pasang surut di Pelabuhan Tanjung Emas. Elevasi muka air pasang tinggi (HHWL) sebesar +0,45 m, sedangkan terendah (LLWL) sebesar -0,90 m (JICA, 1998).

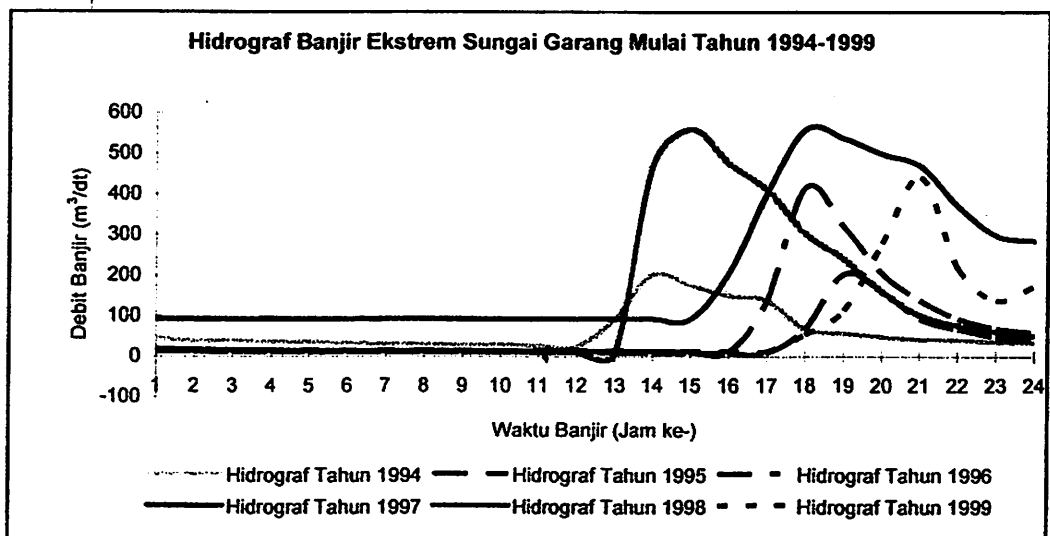
Skenario tinggi puncak banjir dihitung menggunakan metode *Peak Over Threshold (POT)*. Metode ini sesuai dengan kondisi data yang ada di penelitian ini, yakni berdasarkan elevasi muka air dari pesawat AWLR. Perhitungan *POT* mensyaratkan minimal ada 5 data  $h$  dari pesawat AWLR. Di samping itu, dipersyaratkan bahwa di titik itu (jam ke 12) sudah dilengkapi dengan persamaan lengkung debit. Semua syarat ini sudah tersedia, sehingga pemanfaatan metode ini menjadi sah.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Bentuk Hidrograf Banjir Sungai Garang di Panjangan

Bentuk hidrograf banjir ekstrem Sungai Garang dilukis berdasarkan data elevasi muka air yang diukur menggunakan alat duga air otomatis (AWLR). Berdasarkan data AWLR, diperoleh enam kurva elevasi muka air yang bentuknya ekstrem, yaitu kurva tahun 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, dan 1999. Oleh karena itu, kurva-kurva pada tahun itu saja yang dibandingkan, untuk menentukan kecenderungan hidrograf Sungai Garang. Berdasarkan data elevasi muka air, dibuat kurva atau hidrograf debit, menggunakan persamaan *Rating Curve* [ $Q=31,214 (H-0,12)^{1,716}$ ].

Bentuk hidrograf debit fungsi waktu  $Q=f(t)$  Sungai Garang di Panjangan mulai tahun 1994 sampai dengan 1999 tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Hidrograf Banjir Sungai Garang di Panjangan

Kecenderungan hidrograf debit fungsi waktu  $Q = f(t)$  Sungai Garang di Panjangan didasarkan pada waktu konsentrasi ( $t_c$ ). Hidrograf yang nilai  $t_c$  nya mendekati nilai yang sesungguhnya, adalah kecenderungan hidrograf Sungai Garang. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai  $t_c$  adalah 183 menit. Dengan demikian, hidrograf yang sesuai dengan nilai  $t_c$  nya adalah hidrograf tahun 1997.

Berdasarkan bentuk hidrograf Sungai Garang pada Gambar 1, dapat dikatakan bahwa Sungai Garang termasuk dalam kategori sungai *Perennial*. Kategori ini adalah sungai yang mengalirkan air di sepanjang tahun, karena Muka Air Tanah (MAT) tidak pernah di bawah dasar sungai (Sri Harto, 1993).

Hidrograf Sungai Garang, secara mudah dapat dipisahkan antara aliran langsung dan aliran dasarnya, yaitu dengan cara menarik garis lurus dari dua titik terendahnya. Nampak bahwa porsi aliran permukaan sangat besar, yang berarti sebagian besar dari hujan yang jatuh pada DAS Garang di Panjangan sebagian besar menjadi limpasan permukaan. Hasil penelitian ini didukung oleh Poniman (1997:40), yang menemukan bahwa nilai CN DAS Garang adalah antara 51 sampai dengan 92. Nilai ini termasuk dalam kategori *runoff* tinggi, artinya DAS Garang di Panjangan sangat peka terhadap terjadinya limpasan; dapat dikatakan juga bahwa DAS Garang di Panjangan mempunyai kekedapan terhadap air hujan yang tinggi.

Selanjutnya dapat ditentukan besarnya debit banjir pada kala ulang 5 sampai dengan 100 tahun, seperti tersaji dalam Tabel 1 di bawah ini.

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 1 maka bentuk hidrograf DAS Garang sangat

curam (puncak banjir=1472 m<sup>3</sup>/dt), baik *rising limb* maupun *decrease limb* nya. Artinya datang dan perginya banjir di Panjangan terjadi sangat cepat. Kondisi ini sangat membahayakan di wilayah hilir Panjangan, karena banjir akan secara cepat mengalir ke muara sungai yang kontur tanahnya landai. Daerah yang akan tergenang adalah di sekitar Perumahan Tanah Mas dan Semarang Indah.

Tabel 1. Besar Debit Banjir Rata-rata Tahunan Sesuai Kala Ulang di Sungai Garang

No.	Kala Ulang	Faktor Pengali	MAF	Debit Banjir (m <sup>3</sup> /dt)
1	5	1,28	529,525	677,793
2.	10	1,56	529,525	826,059
3.	20	1,88	529,525	995,501
4.	50	2,35	529,525	1244,385
5.	100	2,78	529,525	1472,081

#### Kemampuan Sungai Garang Kondisi Eksisting dalam Meredam Banjir pada Kala Ulang Banjir Seratus Tahunan ( $Q_{100}$ )

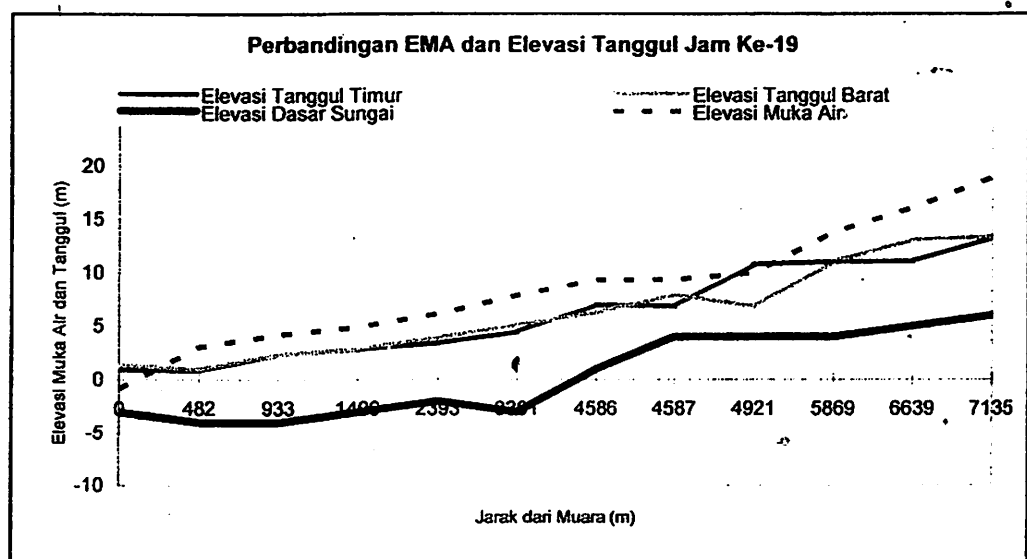
Pada jam ke-18 tanggul di sebelah Timur dan Barat sepanjang 4742 m ke arah hilir dari Panjangan, tepatnya tanggul di antara Kampung Menoreh kelurahan Sampangan dan Panjangan sampai dengan Jalan Madukoro dan Kokrosono terlimpas oleh banjir. Limpasan tertinggi terjadi di penggal 6639 pada tanggul sebelah Timur, yakni setinggi 4,262 m di atas tanggul, secara fisik rentang ini berada di Menoreh dan Panjangan. Debit banjir pada ruas ini sebesar 1472 m<sup>3</sup>/dt, yang sebagian melimpas di atas tanggul yang menggenangi pemukiman di Menoreh dan Panjangan. Kecepatan banjir di ruas ini adalah 2,731 m/dt yang sudah lebih besar dari 2 m/dt, sehingga sudah membahayakan kestabilan alur sungai, serta mengakibatkan luasan genangan di pemukiman bertambah besar.

Kecepatan banjir maksimal terjadi di titik 4586,5 m dari muara, atau di sebelah hilir Bendung Simongan, yakni sebesar 5,4 m/dt. Debit pada ruas ini adalah 988,8 m<sup>3</sup>/dt dan tinggi limpasan di atas tanggul di sebelah Timur adalah 1,874 m dan 2,643 m di sebelah Barat sungai. Kondisi aliran semacam ini menyebabkan banjir di daerah Gisiksari, Bendungan, dan di sebelah Barat sungai adalah di Puspanjolo. Banjir pada ruas ini mempunyai potensi yang sangat besar dalam merusak bahkan 'menjebol' tanggul. Daerah ini merupakan pemukiman padat, sehingga diduga banjir yang melanda daerah ini mengakibatkan korban dan kerusakan yang paling besar pada kejadian jam ke-18.

Pada jam ke-19 terjadi peningkatan elevasi muka air banjir di Panjangan sampai dengan 6653 m di sebelah hilirnya (penggal 482-7135). Di bawah ini disajikan Gambar 2, mengenai perbandingan antara EMA dengan tanggul Timur dan Barat jam ke-19. Elevasi banjir di Panjangan lebih tinggi 5,675 m dari

elevasi tanggul sebelah Timur dan 5,525 m dari elevasi tanggul sebelah Barat. Elevasi banjir di Menoreh lebih tinggi 2,734 m dibandingkan elevasi tanggul sebelah Timur, sedangkan di tanggul sebelah Barat lebih tinggi elevasinya 2,714 m. Debit banjir pada ruas ini, berkisar antara 357,7 m<sup>3</sup>/dt sampai dengan 638,9 m<sup>3</sup>/dt. Kecepatan air pada penggal ini berkisar antara 0,758 m/dt sampai dengan 0,866 m/dt

Pada penggal antara 5869 m sampai dengan 7135 m dari muara yakni di daerah sekitar Panjangan di sebelah Barat dan Menoreh di sebelah Timur sungai, jika dilihat dari aspek debit sesungguhnya lebih kecil dibandingkan dengan kejadian jam ke-18, di samping itu kecepatan banjirnya juga lebih kecil, namun karena banjir melimpas di atas puncak tanggul sangat tinggi yang berkisar antara 5,675 m sampai dengan 5,525 m, maka kedalaman banjirnya cenderung sangat tinggi. Oleh karena itu, banjir pada penggal ini sangat berbahaya bagi keselamatan jiwa dan harta benda penduduk di Panjangan dan Menoreh.



Gambar 2. Perbandingan EMA dengan Elevasi Tanggul Timur dan Barat Jam Ke-19



Pada penggal 482 m sampai dengan 4586 m, tanggul sebelah Timur elevasi puncaknya terlampaui oleh banjir setinggi antara 1,839 m sampai dengan 3,459 m. Pada tanggul sebelah Barat terlampaui banjir antara 1,809 m sampai dengan 3,054 m. Debit banjir yang terjadi berkisar antara 587 m<sup>3</sup>/dt sampai dengan 967 m<sup>3</sup>/dt. Kecepatan banjir berkisar antara 0,836 m/dt sampai dengan 1,965 m/dt.

Panjang tanggul yang terlampaui oleh banjir adalah 6653 m. Penggal ini secara fisik dimulai dari kampung Bendungan di sebelah Timur dan Puspanjolo di sebelah Barat sampai dengan di ujung Utara Perumahan Tanah Mas dan ujung Utara Jalan Madukoro. Kecepatan banjir di alur sungai < 2,0 m/dt, sehingga kecepatan banjir di luar alur sungai akan lebih kecil, meskipun demikian karena banjir yang melampaui di atas puncak tanggul berkisar 1,809 m sampai dengan 3,459 m, di samping itu debit banjir di dalam alur berkisar antara 587 m<sup>3</sup>/dt sampai dengan 967 m<sup>3</sup>/dt, diduga

akan terjadi banjir yang genangnya luas dan dalam pada daerah ini.

Jam ke-20 banjir di hulu mulai surut, namun gelombang banjir merambat ke hilir, tepatnya terjadi di penggal antara 0 m sampai dengan 1406 m, yang secara fisik berada di muara sampai dengan ujung Utara perumahan Tanah Mas di sebelah Timur dan Perumahan Semarang Indah di sebelah Barat. Perambatan gelombang ini merupakan fenomena *difusi* dan *konveksi* dalam teori hidrodinamika. Puncak atau mercu tanggul di hilir Sungai Garang yaitu antara penggal 0 m sampai dengan 1406 m dilampaui oleh banjir sebesar 1,9 m sampai dengan 3,5 m. Kecepatan banjir pada penggal ini antara 0,87 sampai dengan 1,81 meter. Debit banjir pada penggal ini antara 895 m<sup>3</sup>/dt sampai dengan 906 m<sup>3</sup>/dt. Banjir pada penggal ini, sebagian besar berada di rawa-rawa, sehingga tidak banyak menyebabkan kerugian harta dan benda.

Tabel 2. Ringkasan Elevasi Muka Air, Kecepatan, Debit, serta Daerah Genangan Banjir Sungai Garang pada Skenario Q 100 tahunan

Jam ke	Penggal	Kondisi Aliran			Daerah Genangan
		Elevasi (m)	V (m/dt)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	
18	2393-7135	3,841-16.5 atau elevasi banjir di atas tanggul sebesar (0,421-4,26)	1,038-5,404	625-1472	Menoreh, Panjangan, Sampangan, Jalan Kelud, Petompon, Simongan, Gisiksari, Bendungan, Puspowarno, Kokrosono, dan jalan Madukoro
19	482-7135	3.066-18.865 atau elevasi banjir di atas tanggul sebesar (1,809-5,675)	0,836-1,965	587-967	Menoreh, Panjangan, Sampangan, Jalan Kelud, Petompon, Simongan, Gisiksari, Bendungan, Puspowarno, ujung Utara Tanah Mas, dan ujung Utara Jalan Madukoro sampai Jalan Arteri)
20	0-1406	-0,8-4,892 (elevasi banjir di atas tanggul antara 1,9 - 3,5 meter, hanya lokasi itu sebagian rawa-rawa)	0,87-1,81	895,3-906,4	Ujung Utara Tanah Mas, dan ujung Utara Jalan Madukoro sampai Jalan Arteri

Sumber: Hasil Penelitian

**Pengaruh Peningkatan Elevasi Mercu Tanggul Sebesar 50%; Penampang Basah Sebesar 20% dari Kondisi Eksisting; dan Pengurangan Debit  $Q_{100}$  Sebesar 30% terhadap Parameter Banjir. (h)**

Berikut ini disajikan Tabel 3 mengenai perbandingan antara elevasi puncak mercu tanggul sebelum dan sesudah ditingkatkan, serta responnya terhadap elevasi banjir.

Tabel 3 tersebut mempunyai makna bahwa peningkatan elevasi mercu tanggul sebesar 50%, peningkatan kapasitas sungai sebesar 20% dan pengurangan debit rencana sebesar 30% sudah mampu meredam puncak banjir.

**Tabel 3. Perbandingan antara Elevasi Puncak Mercu Tanggul Sebelum dan Sesudah Ditingkatkan, serta Responnya terhadap Elevasi Banjir pada Perbandingan 50%; 20% dan 30%**

No.	Penggall (m)	Peningkatan Puncak Mercu Tanggul				Elevasi Muka Air (m)	
		Sebelum (m)		Sesudah (m)		Jam ke	Jam ke
		Timur	Barat	Timur	Barat	20.00	19.00
1.	0	0,96	1,43	1,505	1,43	-0,8	-0,83
2.	482	0,83	0,98	3,92	3,49	2,24	1,09
3.	933	2,38	2,41	4,255	4,125	2,11	2,98
4.	1406	2,87	2,91	5,095	5,955	2,02	3,82
5.	2393	3,42	3,95	7,89	7,84	3,11	5,01
6.	3391	4,46	5,15	8,49	8,15	4,32	5,02
7.	4586	7,01	6,25	8,51	8,25	4,27	6,85
8.	4587	6,86	7,96	9,86	9,96	7,24	7
9.	4921	10,78	6,83	10,165	10,83	7,26	7
10.	5869	11	11,02	11,31	11,865	8,21	8,98
11.	6639	11,06	13,03	11,315	13,645	8,94	9,64
12.	7135	13,19	13,39	13,37	14,26	11,25	10,93

Sumber: Hasil penelitian

**Pengaruh Peningkatan Elevasi Mercu Tanggul Sebesar 30%; Penampang Basah Sebesar 50% dari Kondisi Eksisting; dan Pengurangan  $Q_{100}$  Sebesar 20% terhadap Parameter (h)**

Berikut ini disajikan Tabel 4 mengenai perbandingan antara elevasi puncak mercu tanggul sebelum dan sesudah ditingkatkan, serta responnya terhadap elevasi banjir.

Tabel 4 tersebut mempunyai makna bahwa peningkatan elevasi mercu tanggul sebesar 30%, peningkatan kapasitas sungai sebesar 50% dan pengurangan debit rencana sebesar 20% mampu meredam puncak banjir.

**Tabel 4. Perbandingan antara Elevasi Puncak Mercu Tanggul Sebelum dan Sesudah Ditingkatkan, serta Responnya terhadap Elevasi Banjir pada Perbandingan 30%; 50% dan 20%**

No.	Penggall (m)	Peningkatan Puncak Mercu Tanggul				Elevasi Muka Air (m)	
		Sebelum		Sesudah		Jam ke	Jam ke
		Timur	Barat	Timur	Barat	20.00	19.00
1.	0	0,96	1,43	1	1,43	-0,8	-0,83
2.	482	0,83	0,98	3.408	3.422	2.258	0.572
3.	933	2,38	2,41	3.304	4.763	2.13	2.46
4.	1406	2,87	2,91	4.665	4.549	1.84	3.59
5.	2393	3,42	3,95	7.194	7.588	4.13	6.21
6.	3391	4,46	5,15	7.486	8.15	6.68	6.55
7.	4586	7,01	6,25	9.41	9.25	7.44	8.29
8.	4587	6,86	7,96	9.96	9.96	7.81	8.41
9.	4921	10,78	6,83	10.547	10.83	8.49	9.27
10.	5869	11	11,02	11.002	11.219	8.82	10.19 <sup>Ⓢ</sup>
11.	6639	11,06	13,03	11.381	11.763	9.18	10.51
12.	7135	13,19	13,39	13.546	13.604	9.97	11.89

Sumber: Hasil penelitian

**Pengaruh Peningkatan Elevasi Mercu Tanggul Sebesar 20% Peningkatan Luas Penampang Basah Sebesar 30% ; dan Pengurangan  $Q_{100}$  Sebesar 50% terhadap Elevasi Muka Air Banjir (h)**

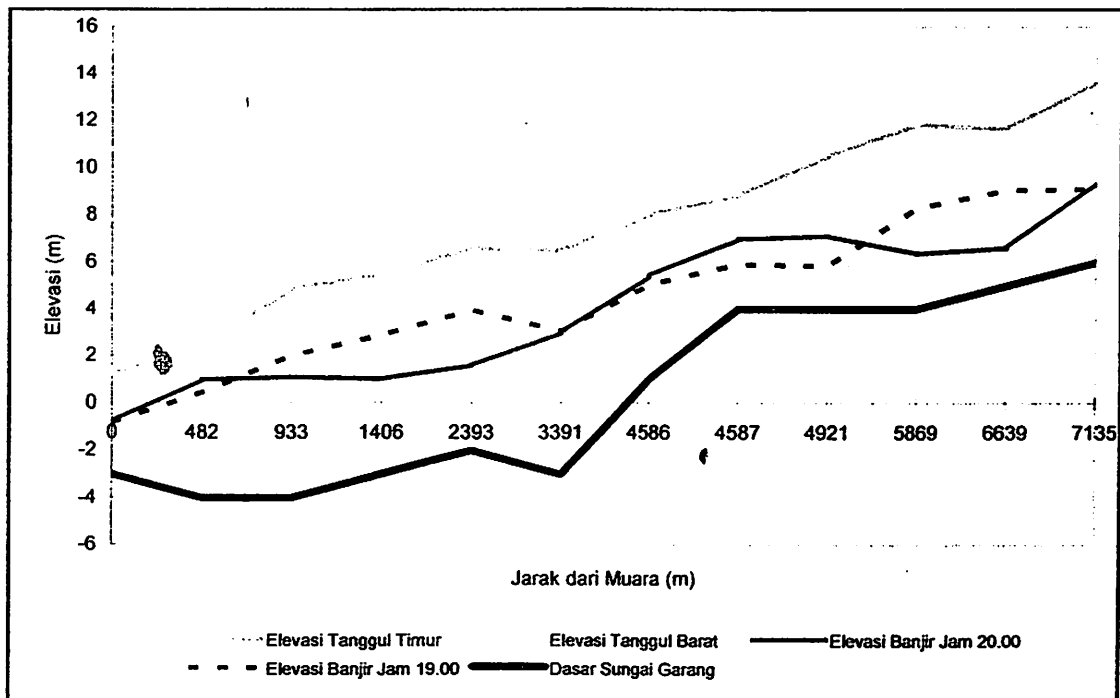
Di bawah ini disajikan Tabel 5 mengenai perbandingan antara elevasi puncak mercu tanggul sebelum dan sesudah ditingkatkan, serta responnya terhadap elevasi banjir.

Tabel 5 serta Gambar 3 tersebut mempunyai makna bahwa peningkatan elevasi mercu tanggul sebesar 20% peningkatan kapasitas sungai sebesar 30% dan pengurangan debit rencana sebesar 50% mampu meredam puncak banjir.

**Tabel 5. Perbandingan antara Elevasi Puncak Mercu Tanggul Sebelum dan Sesudah Ditingkatkan, serta Responnya terhadap Elevasi Banjir pada Perbandingan 20%; 30%; dan 50%**

No.	Penggai (m)	Peningkatan Puncak Mercu Tanggul				Elevasi Muka Air (m)	
		Sebelum		Sesudah		Jam ke	Jam ke
		Timur	Barat	Timur	Barat	20.00	19.00
1.	0	0,96	1,43	1.196	1.43	-0.8	-0.83
2.	482	0,83	0,98	2.402	2.388	0.97	0.424
3.	933	2,38	2,41	4.88	4.582	1.09	1.99
4.	1406	2,87	2,91	5.45	5.346	1.01	2.88
5.	2393	3,42	3,95	6.596	6.962	1.61	3.95
6.	3391	4,46	5,15	6.484	6.15	2.98	3.06
7.	4586	7,01	6,25	8.01	8.25	5.42	5.04
8.	4587	6,86	7,96	8.86	8.96	6.99	5.92
9.	4921	10,78	6,83	10.488	11.83	7.12	5.84
10.	5869	11	11,02	11.848	11.896	6.37	8.31
11.	6639	11,06	13,03	11.664	13.322	6.61	9.06
12.	7135	13,19	13,39	13.634	13.776	9.39	9.12

Sumber: Hasil penelitian



**Gambar 3. Respon Peningkatan Elevasi Mercu Tanggul sebesar 20%, 30%, dan 50% dari Kondisi Eksisting**

## PENUTUP

### Kesimpulan

Pertama, pada banjir kala ulang 100 tahunan ( $Q_{100}$ ), Sungai Garang tidak mempunyai kemampuan dalam meredam elevasi muka air banjir, tanggul di sepanjang Menoreh dan panjangannya sampai dengan ujung Utara Perumahan Tanah Mas terlimpas oleh Banjir, sehingga wilayah yang tergenang meliputi Menoreh, Panjangan, Sampangan, Jalan Kelud, Petompon, Simongan, Gisiksari, Bendungan, Puspowarno, ujung Utara Perumahan Tanah Mas, dan ujung Utara Jalan Madukoro sampai Jalan Arteri (Kantor-kantor Dinas Pemerintah Propinsi Jawa Tengah).

Kedua, upaya peningkatan elevasi mercu tanggul Sungai Garang sebesar 20% dari kondisi eksisting; peningkatan luas penampang basah sebesar 30% dari kondisi eksisting; dan pengurangan debit rencana seratus tahunan ( $Q_{100}$ ) sebesar 50% secara teknis mempunyai pengaruh yang paling maksimal terhadap peredaman elevasi muka air banjir (3,344 m > 2,693 m > 1,618 m). Urutan kemampuan dalam meredam elevasi muka air banjir adalah alternatif (20%, 30%, 50%); (50%, 20%, 30%); dan yang terakhir alternatif (30%, 50%, 20%).

### Saran

Pengurangan debit banjir rencana ( $Q_{100}$ ) mempunyai kepekaan yang tinggi dalam meredam elevasi muka air, nampak dari hasil penelitian ini bahwa penurunan elevasi muka air maksimal secara berurutan dimulai dari pengurangan debit 50%, 30%, dan 20%. Penambahan kapasitas penampang basah sungai, nampaknya tidak peka terhadap penurunan muka air banjir. Peninggian tanggul mempunyai kepekaan tertinggi, sebab yang

dikendalikan adalah elevasi muka air, keduanya mempunyai kesamaan dimensi satuan yakni meter, jadi langsung sifat pengendaliannya. Permasalahannya, pada peninggian elevasi tanggul yang ekstrem, justru dapat menyebabkan sedimentasi yang hebat, sebab tanggul yang tinggi mengakomodasi dan mengakumulasi sedimen. Oleh karena itu, pengendalian banjir di Sungai Garang, sebaiknya digunakan dengan komposisi 20%, 30%, dan 50%.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aris, Y., H.. 2000. *Perancangan Ulang Bendung Copong (Perancangan Hidraulika Bendung)*. Tugas Akhir tidak diterbitkan. Jurusan Teknik Sipil, UGM, Semarang.
- Bintoebi, R. dan Sulam. 1997. *Bendungan Jatibarang sebagai Usaha Pengendalian Banjir Kota Semarang*. Tugas Akhir tidak diterbitkan. Program Strata 1 Ekstensi, Jurusan Teknik Sipil, UNDIP, Semarang.
- DPU. 1999. *Publikasi Data Debit Sungai Jawa Tengah Tahun 1999*. Semarang: Direktorat Jenderal Pengairan.
- Hindarko, S.. 2000. *Drainasi Perkotaan*. Surabaya: Es-ha.
- JICA. 1997. *The Detailed Design of Flood Control, Urban Drainage And Water Resources Development In Semarang In The Republic of Indonesia*. Inception Report. CTI Engineering CO., LTD in association with Pasific Consultants International and Pasco International Inc.
- JICA. 1998. *The Detailed Design of Flood Control, Urban Drainage and Water Resources Development in Semarang in The Republic of Indonesia*. Progress Report (1). CTI Engineering CO., LTD in association with Pasific Consultants International and Pasco International Inc.

Kodoatie, R., J., dan Sugiyanto. 2002. *Banjir Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Larosa, F., T., Amirwandi, Surapati., E.. 2001, *Analisis Model DUFLOW dalam Pengelolaan Muka Air Banjir Cengkareng Drain*. Makalah disajikan dalam PIT ke XVIII. HATHI, Malang, 22-24 Oktober.

Poniman, A. dkk. 1997. *Penyusunan SIG untuk Pengelolaan DAS Kaligarang*. Laporan Penelitian. Bappeda Tingkat I Jawa Tengah.