

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Progo merupakan daerah aliran sungai yang pengelolaannya di bawah BWS Progo Opak Oyo DIY. Sungai utama dari DAS ini adalah Sungai Progo yang mempunyai panjang berkisar 138 km dengan luas DAS berkisar 238 km². Sebagai salah satu sungai terbesar di DIY, Sungai Progo merupakan sumber kehidupan bagi masyarakat Yogyakarta. Melalui pintu pengambilan air irigasi Kalibawang, Mataram dan Sapon masyarakat Kulon Progo dan Sleman masyarakat menggantungkan pertaniannya.

Seperti dilihat pada Gambar 1.1, DAS Progo mempunyai hulu atau mata air di empat gunung yang berada di DIY dan Jawa Tengah. Beberapa anak sungai berhulu di Gunung Sindoro, Sumbing dan Merbabu. Beberapa anak sungai berhulu di Gunung Merapi. Karakteristik gunung yang berbeda menjadikan aliran dan material dasar sungai juga berbeda. Gunung Sindoro, Sumbing dan Merbabu adalah gunung yang lama sudah tidak aktif lagi. Sedangkan Gunung Merapi adalah gunung yang bisa dikatakan sangat aktif. Letusan dari Gunung Merapi mengeluarkan banyak material sedimen, seperti abu, pasir, kerikil dan batu. Umumnya pada saat letusan, material kasar akan mengendap di sekitar puncak gunung.

Gunung Merapi yang terletak di wilayah Jawa Tengah dan Yogyakarta merupakan salah satu gunung api yang beraktivitas tinggi. Pada tanggal 26 Oktober 2010. Gunung Merapi mengalami erupsi pertama dan berlanjut dengan

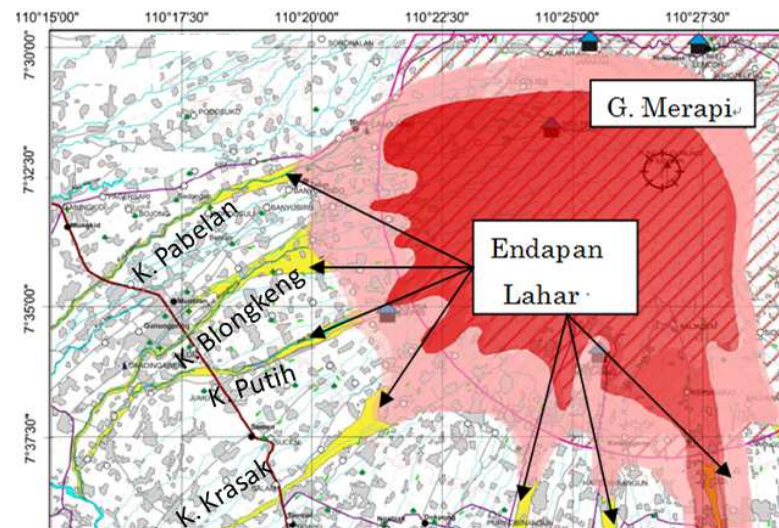
erupsi lanjutan hingga awal November 2010. Letusan tersebut telah mengakibatkan bencana bagi masyarakat Yogyakarta dan Jawa Tengah. Bencana ini merupakan yang terbesar bila dibandingkan dengan bencana serupa pada lima kejadian sebelumnya, yaitu kejadian pada tahun 1994, 1997, 1998, 2001 dan 2006 atau terbesar sejak 150 tahun tepatnya tahun 1872 (BNPB, 2011). Selama proses erupsi, volume material yang dikeluarkan mencapai 130 juta m³ yang tersebar di sungai-sungai yang berhulu di Gunung Merapi.

Di samping munculnya bahaya primer berupa awan panas, bahaya sekunder berupa banjir lahar mengancam daerah atau sungai yang dilaluinya. Letusan Merapi 2010 mengeluarkan material lahar yang mengarah ke Selatan dan Barat Daya. Aliran lahar yang ke arah Selatan mengendap di Kali Gendol, sedangkan yang ke arah Barat Daya mengendap di Kali Pabelan, Kali Blongkeng, Kali Putih dan Kali Krasak (lihat Gambar 1.2). Pada saat hujan maka tumpukan lahar tersebut akan terbawa aliran ke hilir. Hal ini akan mengakibatkan kondisi aliran sungai akan mengandung konsentrasi sedimen yang tinggi, bahkan aliran berubah menjadi aliran debris.

Dengan melihat endapan material lahar dingin di anak-anak sungai Progo tersebut, maka sudah dapat dipastikan bahwa di sungai Progo akan menerima beban aliran sedimen yang berlebih setelah letusan Merapi 2010. Selama musim hujan material sedimen tersebut akan terbawa aliran air sehingga aliran akan mengandung *bedload* dengan konsentrasi tinggi. Tentunya hal ini akan memberi dampak perubahan morfologi sungai yang signifikan pada musim hujan. Material *bedload* akan mengendap jika kondisi aliran memberikan *shearstress* pada dasar aliran yang rendah, atau kurang dari kondisi kritik.

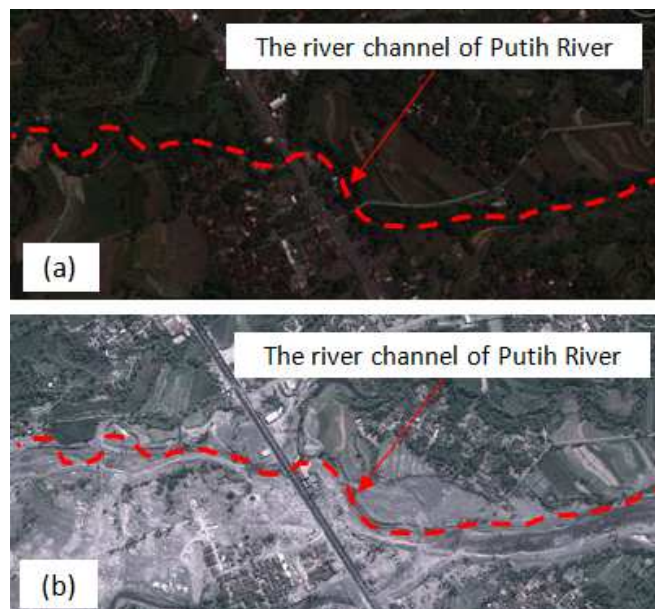


Gambar 1.1. Daerah Aliran Sungai Kali Progo



Gambar 1.2 Endapan lahar yang berada di Kali Pabelan, Kali Blongken, dan kali Putih

Jumlah sumber sedimen yang sangat besar akibat letusan 2010 menciptakan endapan-endapan sedimen pada pias-pias tertentu di sungai Progo. Hal tersebut dapat memberikan perubahan morfologi sungai yang terbilang cepat. Perubahan morfologi sungai sangat tergantung dari kondisi aliran dan material sedimen yang ada (Duan dan Julien, 2005). Seperti terlihat pada Gambar 1.3, menunjukkan photo satelit yang memperlihatkan kondisi endapan di kali Putih. Gambar 1.4 menunjukkan aliran di Kali Putih pada saat aliran mengandung debris dari lahar dingin. Dapat dilihat bahwa air sangat keruh. Gambar 1.5 menunjukkan endapan sedimen di hilir Sungai Progo. Endapan tersebut berasal dari material lahar dingin yang tertransportasi ke hilir bersama aliran sungai. Dapat dilihat bahwa volume material sangat besar. Dari perkiraan volume yang terendap di sekitar jembatan Kebon Agung II mencapai 30.000 m³.



Gambar 1.3 Kondisi Kali Putih sebelum terjadi letusan Gunung Merapi (a) dan endapan lahar di Kali Putih (b)



Gambar 1.4 Kondisi aliran kali Blongkeng setelah letusan G. Merapi 2010



Gambar 1.5 Sedimentasi yang terjadi di hilir Jembatan Kebon Agung II

Kondisi topografi sungai juga berpengaruh pada proses perubahan morfologi sungai. Di sungai sebelah hulu biasanya kemiringan dasar sungai adalah curam sehingga kondisi aliran umumnya superkritis. Sedangkan jenis aliran di sebelah hilir sungai biasanya subkritis. Melihat kondisi hidraulika

tersebut maka butiran sedimen yang kasar cenderung terdeposit di sebelah hulu dan material yang lebih halus akan terendap di sebelah hilir sungai. Mengingat jumlah material sedimen yang ada di sepanjang sungai Progo akibat letusan Gunung Merapi sangat besar, maka kondisi dasar sungai akan mengalami perubahan yang sangat signifikan dalam waktu yang cukup singkat. Kondisi hidraulika sungai sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan kondisi struktur sungai yang ada.

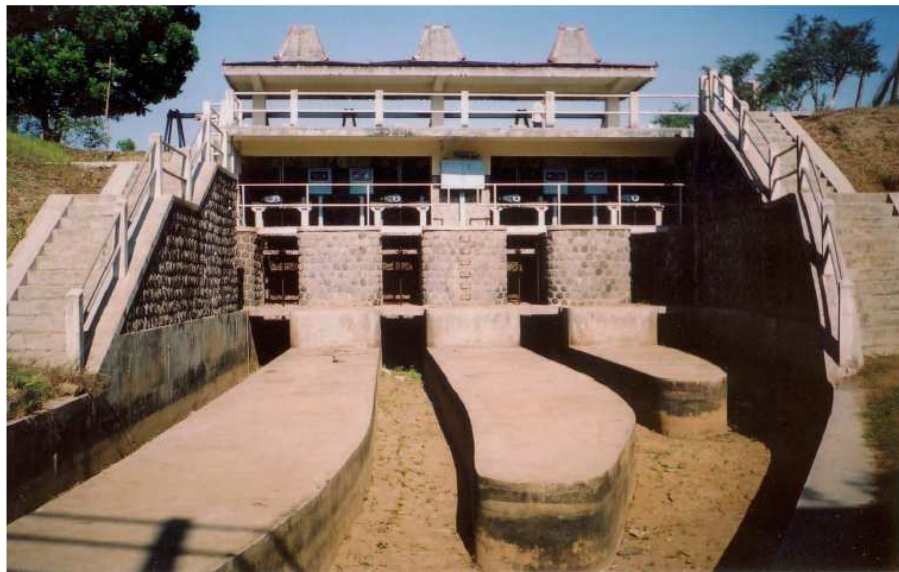
Proses erosi dan sedimentasi akan berpengaruh terhadap kestabilan konstruksi. Pada perencanaan konstruksi kondisi letusan Gunung Merapi tahun 2010 tidak termasuk dalam perencanaan atau desain bangunan. Sedangkan dari data pengamatan visual beberapa lokasi mengalami perubahan morfologi sungai yang sangat signifikan. Perubahan tersebut diperkirakan sangat mempengaruhi kondisi hidraulika sungai. Dengan demikian diperlukan penelitian untuk menganalisa kondisi hidraulika sungai Progo pada umumnya, terutama pada pias yang terdapat konstruksi sungai. Pada penelitian ini lokasi yang dipilih adalah pias Sungai Progo bagian hilir. Hal ini sangat penting untuk menilai keamanan suatu bangunan atau konstruksi sungai. Harapan lebih jauh dari penelitian adalah menghindari kerusakan atau kegagalan konstruksi keairan. Sebagai contoh keruntuhan jembatan Srandakan di sungai Progo. Kegagalan struktur pilar Jembatan Srandakan pada tahun 2000 menjadi salah satu contoh (Gambar 1.6). Serta degradasi dasar sungai di depan intake Sapon juga menjadi contoh bencana yang disebabkan oleh proses *transport* sedimen.

Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan suatu kajian (studi) sebagai usaha untuk mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh adanya proses degradasi

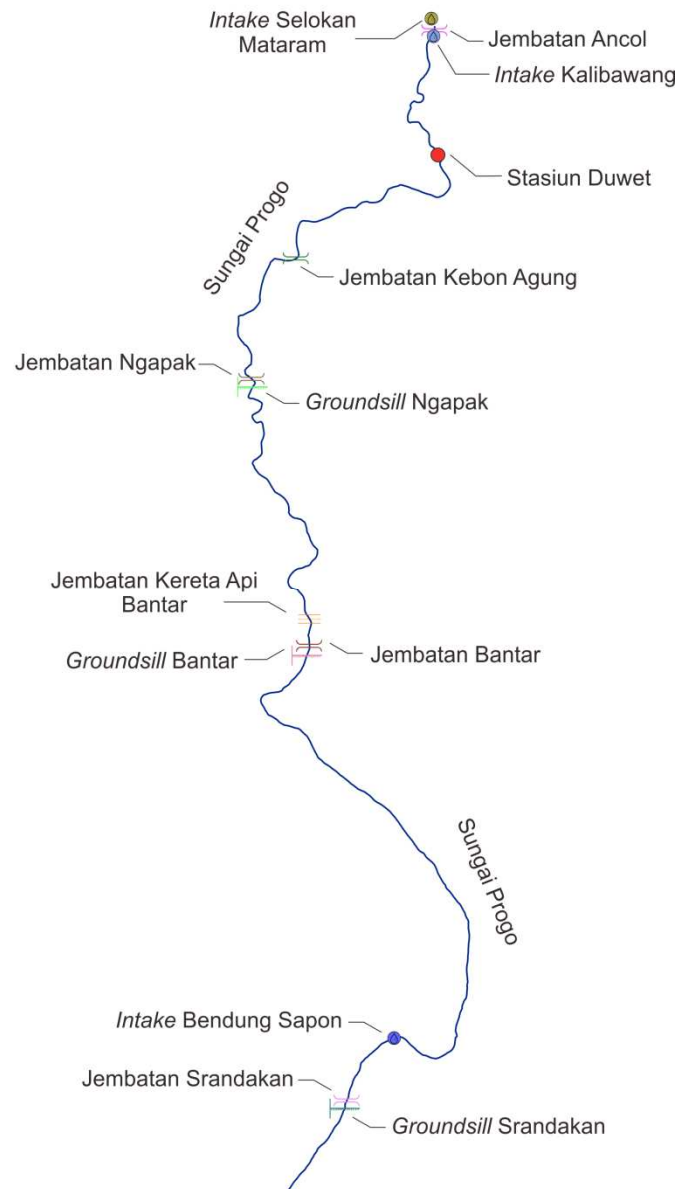
dan agradasi. Kajian tentang pengaruh tersebut adalah salah satu cara untuk mengetahui penyebab terjadinya bencana sehingga dapat dibuat rencana penanganan yang dapat mengurangi dan mereduksi akibat-akibat yang ditimbulkannya.



Gambar 1.6 Kegagalan konstruksi jembatan Srandakan Bantul



Gambar 1.7 Intake Sapon yang tidak berfungsi karena degradasi Sungai Progo



Gambar 1.8 Infrastruktur di Sungai Progo bagian tengah dan hilir

Dari Gambar 1.8 tersebut dapat dilihat infrastruktur bangunan di sungai. Sebagian besar infrastruktur tersebut menopang jalannya perekonomian di Yogyakarta khususnya dan di Jawa pada umumnya. Dengan demikian manajemen bencana pada sungai vulkanik seperti Sungai Progo menjadi sangat penting.

Keberlangsungan konstruksi bangunan yang melintang di Sungai Progo harus diperhatikan.

1.2. Identifikasi Masalah

1. Salah satu permasalahan yang terjadi di sungai Progo adalah terbentuknya endapan sedimen di bagian hilir sungai yang menyebabkan perubahan morfologi sungai dalam waktu relatif singkat. Endapan sedimen tersebut diakibatkan oleh sedimen suplai yang berlebih dari letusan Gunung Merapi 2010. Perubahan morfologi sungai akan merubah kondisi hidraulika aliran. Hidraulika aliran berperan penting dalam proses degradasi dan aggradasi dasar sungai.
2. Adanya infrastruktur penting yang berada di Sungai Progo, contohnya pilar-pilar jembatan, dan bangunan penahan tebing. Keamanan bangunan tersebut sangat tergantung dari kondisi erosi dasar sungai, terutama erosi di sekitar bangunan.
3. Melihat poin 1 dan 2 tersebut maka sangat diperlukan suatu penelitian tentang laju aggradasi dan degradasi dasar sungai secara menyeluruh. Hal ini diperlukan untuk menilai pada bagaian pias sungai mana yang terjadi erosi/degradasi atau sedimentasi/aggradasi. Dengan kegiatan ini diharapkan dapat memberikan penilaian awal terhadap stabilitas bangunan air yang ada di sungai Progo. Lebih lanjut lagi, agar kegagalan struktur dapat dicegah sedini mungkin.

1.3. Rumusan Masalah

Membuat suatu simulasi atau model matematik untuk memperkirakan proses agradasi dan degradasi dasar Sungai Progo. Dengan simulasi tersebut digunakan untuk menilai apakah kondisi bangunan yang ada di Sungai Progo aman atau rentan terhadap kegagalan konstruksi.

1.4. Batasan Masalah

1. Melihat permasalahan yang terjadi pada Sungai Progo sangat kompleks, maka kajian ini dibatasi untuk memfokuskan kajian pada laju sedimentasi (degradasi dan agradasi).
2. Lokasi yang diteliti adalah ruas sungai Progo bagian hilir.
3. Kajian perubahan morfologi sungai akan didekati dengan persamaan aliran satu dimensi.
4. Karena keterbatasan data maka, penampang sungai dianggap segiempat untuk seluruh pias sungai
5. Data input debit akan menggunakan hasil pengamatan lapangan yang didapatkan dari instansi yang bersangkutan.

1.5. Tujuan

Mengetahui laju degradasi dan agradasi pada pias Sungai Progo hilir.

Memonitor kondisi keamanan terhadap kestabilan strktur infrastruktur di sungai Progo.

1.6. Manfaat Penelitian

Memberi rekomendasi pada pemerintah daerah tentang kondisi keamanan/kestabilan konstruksi dari infrastruktur yang berada di sungai Progo.

BAB 2

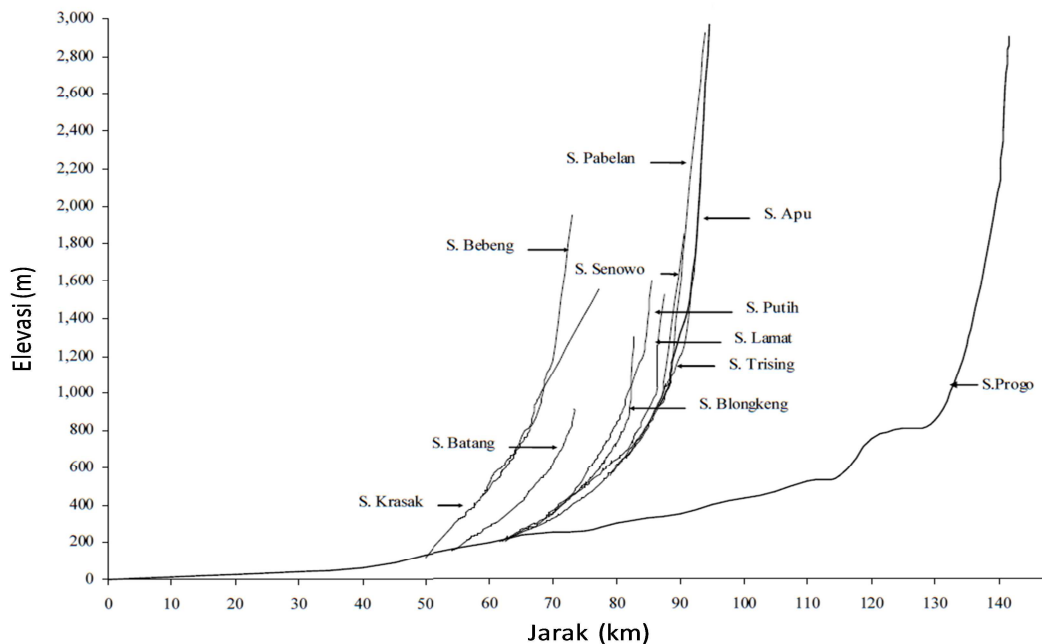
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Erosi dan Sedimentasi Sungai Vulkanik

Karakteristik DAS dengan hulu di Gunung Merapi adalah hulu sungai dengan kemiringan yang terjal dan hilir kemiringan kecil. Dengan kemiringan hulu yang terjal ini menyebabkan aliran air yang cepat dan potensi erosi dasar sungai di sebelah hulu besar. Hal ini menyebabkan terjadinya tebing-tebing sungai yang cenderung tinggi. Kemiringan dasar Sungai Progo dan anak-anak sungainya dapat dilihat pada Gambar 2.1. Hasil letusan Gunung Merapi menumpuk di Kali Pabelan, Kali Blongkeng dan Kali Putih. Dengan melihat kemiringan dasar sungai dan endapan sedimen di anak Sungai Progo dapat disimpulkan bahwa sedimen yang terbawa aliran di anak Sungai Progo memiliki daya rusak yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh potensi energi yang dimiliki oleh endapan sedimen.

Schumm (1971) mengklasifikasikan sungai dalam dua grup mayor. Grup pertama adalah grup sungai dengan dasar sungai bebatuan dan grup sungai alluvial. Pada grup pertama perubahan layout plan sungai sangat lambat karena tebing dan dasar sungai umumnya bebatuan. Sedangkan grup yang kedua adalah sungai dengan potensi perubahan geometri sungai besar. Hal ini disebabkan karena material dasar dan tebing sungai terbentuk oleh material endapan yang mudah tererosi. Dari peta karakteristik topografi das Sungai Progo, Manonama (2008) menyebutkan bahwa karakteristik anak Sungai Progo adalah termasuk dalam kategori grup satu, yaitu sungai dengan dasar bebatuan (*bedrock controlled channel*) dan alur sungai mulai dari Sungai Progo bagian tengah sampai dengan

muara adalah tergolong dengan sungai alluvial. Dasar dan tebing sungai alluvial mempunyai potensi yang besar dalam hal proses erosi tebing sungai. (Hooke, 1979; Hagerty, *et al.*, 1985; Schumm, 1985). Erosi tebing sungai merupakan fenomena sungai yang menyebabkan perubahan geometri. Pada lokasi tertentu erosi tebing sungai menjadi ancaman bagi keberlangsungan infrastruktur sungai. Pada kenyataannya proses erosi tebing sungai ini kurang diperhatikan oleh sebagian para engineer dalam membangun suatu bangunan sungai atau bangunan yang berada di sungai.



Gambar 2.1 Kemirigan dasar sungai dan anak Sungai Progo

Erosi tebing sungai dapat dipicu oleh proses geologi, geomorfologi dan proses hidrolika. Ada hubungan yang erat antara ketiga proses tersebut. Ketiga proses tersebut sangat erat kaitannya dengan proses sedimen *transport* di sungai. Sehingga proses erosi tebing sungai sangat erat kaitannya dengan proses sedimen *transport* di sungai. Dengan demikian penanganan erosi tebing sungai tidak hanya sekedar membangun konstruksi yang ditunjukkan untuk membuat tebing menjadi

lebih kokoh, akan tetapi pengaruh hidrolika dan sedimen transpor juga harus diperhatikan.

Sebagai contoh sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada gambar tersebut dilakukan pembuatan konstruksi dinding penahan tebing suatu sungai yang terbuat dari pasangan batu. Dasar sungai yang berupa pasir dan geometri sungai yang cenderung berbelok membuat sungai membentuk formasi sand bar di tengah-tengah sungai. Perubahan geometri tersebut akhirnya merubah pola aliran sungai. Sand bar yang ada ditengah tersebut membelokan arah aliran sehingga aliran pada sisi kanan sungai menjadi lebih cepat. Hal ini menyebabkan tegangan geser dasar sungai juga semakin besar dan yang terjadi tegangan geser ini mampu membawa material dasar di kaki pasangan batu penahan tebing. Selanjutnya dasar sungai di kaki dinding penahan tebing tererosi sehingga konstruksi tidak mempunyai landasan yang kuat dan stabil. Hal ini menyebabkan keruntuhan atau kegagalan konstruksi seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2 (b). Melihat kejadian yang sederhana tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian para *engineer* atau praktisi kurang memperhatikan proses sedimentasi dan erosi pada sungai hubungannya dengan kestabilan konstruksi bangunan sungai.



(a) (b)
Gambar 2.2 Kegagalan konstruski dinding penahan tebing sungai
(Photo courtesy: Djoko Legono)

Proses erosi tebing sungai dari sungai alluvial diteliti oleh Osman dan Thorne (1988). Dalam perkembangannya konsep erosi tersebut dikembangkan oleh Darby dan Thorne (1996) serta Duan, (2005). Pada konsep ini erosi pada kaki tebing sungai menyebabkan tinggi relative awal (H_0) menjadi bertambah (H) dan menjadikan energi potensial dari material tebing dengan berat W bertambah. Sehingga ketika gaya geser F_r kurang dari gaya yang ditimbulkan oleh W maka tebing sungai akan longsor dan terjadilah proses erosi tebing sungai. Dengan kata lain proses terjadinya degradasi dasar sungai akan memicu terjadinya erosi tebing sungai.

Penelitian tentang pengaruh pergerakan *bedload transport* dalam kaitannya dengan pengaruh bed degradasi sudah dilakukan oleh Kamphuis (1990), Thompson dan Amos (2004). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya *bedload transport* menyebabkan kenaikan dan penurunan tegangan geser dasar di permukaan dasar sungai. Kenaikan tegangan geser dapat menyebabkan terjadinya degradasi begitu pula sebaliknya. *Bedload transport* dalam aliran akan memakai energi aliran. Karena energi aliran tersebut sebagian berubah menjadi energi gerak pada material *bedload*, maka kecepatan aliran akan berkurang. Di sisi lain pergerakan material *bedload* juga menimbulkan energi gerak. Energi ini yang dapat memicu erosi dasar sungai (Carbonneau and Bergeron, 2000). Penurunan tegangan geser dapat menyebabkan degradasi dasar sungai. Seperti dijelaskan di atas, bahwa degradasi sungai dapat menyebabkan terjadinya erosi tebing sungai.



Gambar 2.4 Material endapan dari lahar Gunung Merapi di Kali Putih



Gambar 2.5 Erosi tebing sungai di Kali Putih



Gambar 2.6 Erosi pada jembatan Srowol (a) Erosi pada sisi abutmen jembatan,
(b) Putusnya jembatan Srowol

(<http://sekilasberita.blogspot.jp/2010/12/jembatan-srowol-jalur-alternatif.html>)

Kasus erosi yang disebabkan oleh aliran debris oleh lahar dingin adalah runtuhnya jembatan Srowol di Sungai Pabelan. Peristiwa ini terjadi sebulan setelah terjadinya letusan Gunung Merapi 2010. Energi membuat material dasar di sekitar abutmen jembatan terbawa aliran. Sehingga abutmen tidak mempunyai fondasi yang kuat dan akhirnya *bedload transport* konstruksi jembatan runtuh dan terbawa arus sungai.

2.2. Keaslian Penelitian

Permasalahan erosi tebing di sungai vulkanik merupakan hal yang perlu dimengerti dengan benar oleh para praktisi. Pemahaman fenomena degradasi dan aggradasi pada sungai menjadi penting untuk diketahui dalam mengelola konstruksi di sungai vulkanik. Sungai Progo yang melintas dari sisi Utara sampai sisi Selatan Yogyakarta merupakan sungai vulkanik yang morfologinya berubah dengan cepat setelah terjadinya letusan Gunung Merapi. Jembatan yang melintang pada sungai di antaranya, Jembatan Srandakan, Jembatan Bantar, Jembatan rel kereta Bantar, Jembatan Kebon Agung I dan II. Konstruksi jembatan yang terdapat pada sungai tersebut harus dikelola dengan baik untuk keberlangsungan struktur. Proses degradasi sungai menjadi informasi penting dalam hal pemeliharaan infrastruktur jembatan. Belum adanya informasi tentang proses degradasi dan aggradasi sungai secara potongan memanjang sungai, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memperkirakan kedalaman erosi dan ketinggian endapan sedimen.

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Hidrolika adalah bagian dari ilmu yang mempelajari perilaku air baik dalam keadaan diam atau yang disebut hidrostatika maupun dalam keadaan bergerak atau disebut hidrodinamika. Untuk mengetahui karakteristik suatu aliran air sungai dengan lebar penampang yang besar memerlukan pendekatan beberapa pengamatan dengan melakukan pengukuran. Selanjutnya dilakukan kegiatan analisis terhadap fenomena aliran yang terjadi dengan menggunakan model tertentu. Model merupakan penyederhanaan dari suatu realita atau kondisi sesungguhnya di *real world* (Thomas dan Hugget, 1980).

Sifat aliran air dalam suatu sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah debit sungai (volume air) yang tergantung pada daerah aliran sungai tersebut. Faktor kemiringan sungai (*gradient*) yang dapat digunakan sebagai petunjuk tingkat kecepatan aliran. *Gradient* sungai dapat dihitung dengan bantuan garis kontur yang memotong sungai pada peta topografi. Kemudian faktor lebar penampang sungai yang dapat mempengaruhi kecepatan arus. Semakin lebar penampang sungai maka kecepatan arus akan semakin lambat dan sebaliknya semakin sempit penampang sungai kecepatan arus akan semakin cepat.

Analisa hidrolika digunakan untuk mendapatkan tinggi muka air dan kecepatan aliran. Hidrolika juga digunakan dalam menganalisa koefisien manning atau koefisien kekasaran saluran pada sisi kiri, sisi kanan, dan dasar saluran atau sungai. Analisa koefisien manning didasarkan pada tinggi muka air dan kecepatan

aliran permukaan hasil pengamatan di lapangan. Berdasarkan data debit yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan dan beberapa *input* nilai angka koefisien kekasaran saluran maka akan diperoleh suatu nilai *output* berupa nilai tinggi muka air dan kecepatan aliran yang paling mendekati hasil pengamatan di lapangan. Nilai koefisien manning inilah yang akan digunakan dalam analisa hidrolika selanjutnya terhadap kecepatan aliran, muka air, kecepatan geser dan kapasitas tampung limpasan air paska erupsi Merapi pada Oktober-November 2010 di Sungai Progo. Analisis hidrolika pada penelitian ini menggunakan *software* HEC-RAS versi 4.1.0 untuk memodelkan aliran satu dimensi pada sungai Progo.

Dalam aliran satu dimensi, kecepatan di setiap titik pada tampang lintang mempunyai besar dan arah yang sama. Sebenarnya jenis aliran semacam ini sangat jarang terjadi. Tetapi dalam analisa hidrolika, aliran tiga dimensi dapat disederhanakan menjadi aliran satu dimensi berdasarkan beberapa anggapan, misalnya mengabaikan perubahan kecepatan vertikal dan melintang terhadap kecepatan pada arah memanjang. Keadaan pada tampang melintang adalah nilai rerata dari kecepatan, rapat massa, dan sifat-sifat lainnya. Perubahan kecepatan hanya terjadi pada arah aliran.

3.2 HEC-RAS Versi 4.1.0

HEC-RAS adalah sebuah program aplikasi yang didesain untuk melakukan berbagai analisis hidrolika terhadap pemodelan aliran satu dimensi pada saluran atau sungai, River Analysis System (RAS). *Software* ini dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam Institute for Water Resources (IWR), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE).

HEC-RAS Versi 4.1.0 memiliki empat komponen hitungan hidrolika satu dimensi yaitu a) hitungan profil muka air aliran permanen, b) simulasi aliran tidak permanen, c) hitungan angkutan sedimen, d) analisis kualitas air.

Menurut Simple Geometry River (2011) apabila kecepatan, kedalaman, dan debit aliran tidak berubah terhadap waktu dalam kasus aliran permanen, maka ketiga parameter tersebut merupakan fungsi waktu dalam kasus aliran tak permanen (*unsteady flow*). Contoh dari aliran tidak permanen adalah perubahan debit di dalam pipa atau saluran, aliran banjir di sungai dan aliran di muara sungai yang dipengaruhi pasang surut.

Pada pemodelan aliran tidak permanen menggunakan HEC-RAS, ditetapkan syarat batas untuk melakukan analisa aliran tidak permanen. Pada bagian *upstream* sistem dapat dimodelkan dengan tipe kondisi batas : hidrograf aliran, hidrograf perancah, hidrografa aliran dan perancah. Pada *downstream* dari sistem sungai dapat dimodelkan dengan tipe kondisi batas : kurva ukuran, kedalaman normal, hidrografa perancah, hidrografa aliran, hidrografa perancah dan aliran. Selain itu, kondisi awal ditetapkan berdasarkan data debit aliran mula-mula atau data elevasi air yang diketahui pada potongan stasiun permodelan.

3.3 Persamaan Pada HEC-RAS

Hitungan hidrolika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur dan kedalaman aliran di batas hilir. Hitungan hidrolika aliran di dalam HEC-RAS dilakukan dengan membagi aliran ke dalam dua kategori, yaitu aliran permanen dan aliran tak permanen. HEC-RAS menggunakan metode hitungan

yang berbeda untuk masing-masing kategori aliran tersebut. Untuk aliran permanen, HEC-RAS memakai persamaan energi kecuali di tempat-tempat yang kedalaman alirannya melewati kedalaman kritis. Di tempat terjadi loncat air, pertemuan alur, dan aliran dangkal melalui jembatan, HEC-RAS memakai persamaan (kekekalan) momentum. Di tempat terjadi terjunun, aliran melalui peluap, dan aliran melalui bendung, HEC-RAS memakai persamaan-persamaan empiris. Untuk aliran tak permanen, HEC-RAS memakai persamaan kekekalan massa (*continuity, conservation of mass*) dan persamaan momentum. Kedua persamaan dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial, yang kemudian diselesaikan dengan metode *finite difference approximation* berskema implisit.

1. Persamaan Energi

HEC-RAS menghitung profil muka air di sepanjang alur urut dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. Prosedur perhitungan didasarkan pada penyelesaian persamaan aliran satu dimensi melalui saluran terbuka. Aliran satu dimensi ditandai dengan besarnya kecepatan yang sama pada seluruh penampang atau digunakan kecepatan rata-rata. Profil muka air dihitung dari suatu penampang dengan Persamaan Energi melalui prosedur iterative yang disebut dengan *Standard Step Method*. Persamaan Energi yang dimaksud adalah (Ven Te Chow, 1997 : 243) :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_f + h_e \quad (3.1)$$

dengan :

Y_1, Y_2 = kedalaman air penampang 1 dan 2 (m)

Z_1, Z_2 = elevasi dasar saluran pada penampang 1 dan 2 (m)

V_1, V_2 = kecepatan rata-rata aliran pada penampang 1 dan 2 (m/dt)

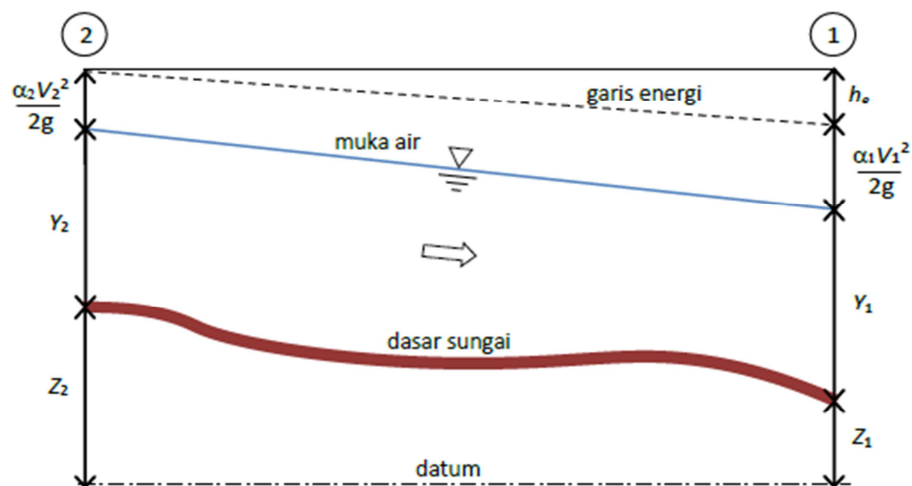
α_1, α_2 = koefisien energi pada penampang 1 dan 2

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

h_f = kehilangan tekanan akibat gesekan (m)

h_e = kehilangan tekanan akibat pusaran (m)

Gambar 3.1 Diagram aliran berubah beraturan mengilustrasikan profil aliran yang menunjukkan komponen aliran sesuai dengan suku-suku pada persamaan energi. Dari diagram aliran pada Gambar 3.1, tampak bahwa kedalaman aliran diukur ke arah vertikal.



Gambar 3.1 Diagram aliran berubah beraturan

2. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan (tinggi) energi, h_e , di antara dua tampang lintang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*) dan kehilangan energi karena perubahan tampang (*contraction or expansion losses*). Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (3.2)$$

dengan :

L = panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit

S_f = *representative friction slope* antar kedua tampang,

C = koefisien kehilangan energi akibat perubahan tampang (kontraksi atau ekspansi)

Panjang ruas sungai antar dua tampang yang diberi bobot sesuai dengan debit dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (3.3)$$

dengan :

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = panjang ruas sungai di sisi kiri (*left overbank*), alur utama (*main channel*), di sisi kanan (*right overbank*),

Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} = debit yang mengalir melalui *left overbank*, *main channel* dan *right overbank*.

3. Kapasitas Angkut Tampang

Kapasitas angkut dan kecepatan rata-rata di suatu tampang dihitung dengan membagi tampang menjadi beberapa bagian; di setiap bagian, kecepatan terbagi merata. Bagian-bagian tersebut dikelompokkan menjadi tiga alur yaitu alur bantaran kiri (*left overbank*), alur utama (*main channel*), dan alur bantaran kanan (*right overbank*). Besarnya debit dihitung perbagian penampang sungai dengan mengacu pada persamaan *Manning's* berikut :

$$Q = KS_f^{2/3} \quad (3.4)$$

$$K = \frac{1}{n}AR^{2/3} \quad (3.5)$$

dimana :

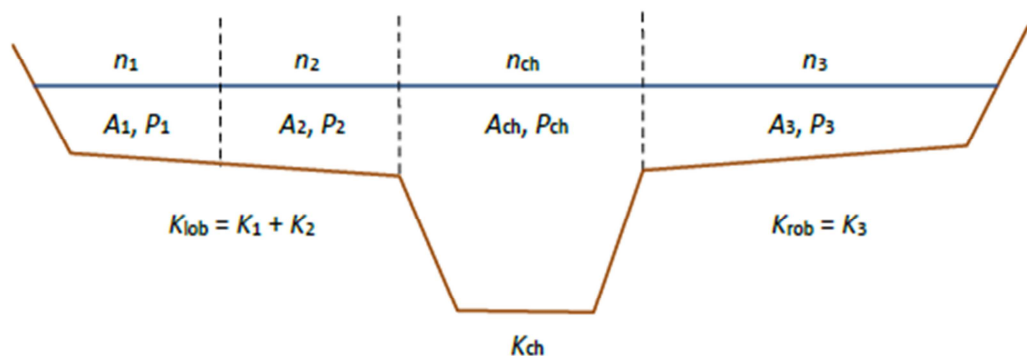
K = kapasitas angkut tiap bagian tampang,

n = koefisien kekasaran Manning tiap bagian tampang.

A = luas tampang basah tiap bagian tampang,

R = radius hidrolis tiap bagian tampang.

Kapasitas angkut total suatu tampang adalah jumlah kapasitas angkut bagian tampang seperti yang diperlihatkan Gambar 3.2 Pembagian tampang untuk keperluan hitungan kapasitas angkut.

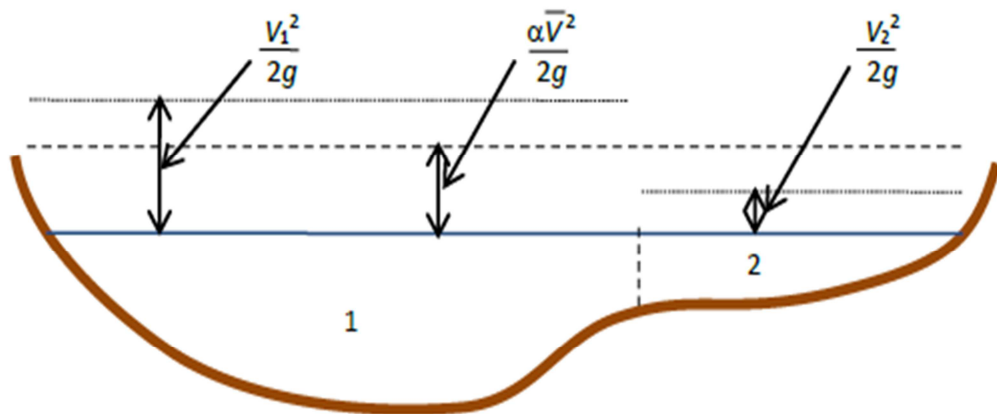


Gambar 3.2 Pembagian tampang untuk keperluan hitungan kapasitas angkut.

4. Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata

Karena HEC-RAS adalah model satu-dimensi, maka walaupun suatu tampang lintang dikelompokkan ke dalam beberapa bagian, namun hanya ada satu muka air di tampang lintang tersebut. Dengan demikian, di satu tampang hanya ada satu nilai tinggi energi kinetik (rata-rata). Untuk satu muka air,

tinggi energi kinetik rata-rata dihitung dengan merata-ratakan tinggi energi kinetik di ketiga bagian tampang (*left overbank*, *main channel*, *right overbank*) yang diberi bobot berdasarkan debit di setiap bagian tampang. Gambar 2.3 menunjukkan contoh hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di sebuah tampang yang dibagi menjadi *right overbank* dan *main channel* (tidak ada *left overbank*).



Gambar 3.3 Hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di suatu tampang.

Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata, diperlukan koefisien tinggi kecepatan, α , yang dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\frac{\alpha V^2}{2g} = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{Q_1 + Q_2} \quad (3.6)$$

dengan demikian :

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) V^2} \quad (3.7)$$

atau pada umumnya :

$$\alpha = \frac{|Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_n V_n^2|}{Q V^2} \quad (3.8)$$

5. Tinggi Hilang Karena Gesekan

Kehilangan energi akibat gesekan (*friction loss*) merupakan perkalian antara kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*), S_f , dan panjang ruas sungai antara dua tampang, L .

Kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*) di suatu tampang dihitung dengan persamaan Manning sebagai berikut :

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (3.9)$$

6. Koefisien Persempitan dan Perlebaran Tampang

Koefisien kehilangan energi karena kontraksi dan ekspansi dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (3.10)$$

Dalam persamaan tersebut C adalah koefisien kontraksi atau ekspansi. HEC-RAS menganggap aliran melewati kontraksi (persempitan tampang) apabila tinggi kecepatan hilir lebih besar daripada tinggi kecepatan hulu. Sebaliknya, ketika tinggi kecepatan hulu lebih besar daripada tinggi kecepatan hilir, HEC-RAS menganggap aliran melewati ekspansi (perlebaran tampang).

7. Persamaan Aliran Satu Dimensi

Cara HEC-RAS memodelkan aliran di bantaran didasarkan pada metode yang awalnya dikembangkan oleh Fread (1976) dan Smith (1978), yang kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Barkau (1982). Secara garis besar, metode ini adalah aliran melalui alur utama dan melalui bantaran sebagai dua

aliran yang melewati dua tampang saluran terpisah serta menuliskan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum untuk masing-masing tampang tersebut.

Penyederhanaan dilakukan dengan menganggap muka air di kedua tampang saluran pada arah lateral (tegak lurus arah aliran) datar atau horizontal. Dengan demikian: 1) transfer momentum di antara kedua tampang dapat diabaikan, dan 2) debit terbagi ke kedua ujung tampang berdasarkan kapasitas angkut (*conveyance*) masing-masing tampang yaitu :

$$Q_c = \Phi Q \quad (3.11)$$

dengan :

Q_c = debit aliran melalui alur utama (*channel*),

Q = debit total aliran,

$\Phi = K_c / (K_c + K_f)$

K_c = kapasitas angkut tampang alur utama,

K_f = kapasitas angkut tampang bantaran.

Dengan anggapan tersebut, maka persamaan aliran satu dimensi dapat digabungkan menjadi satu kelompok persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial(1-\Phi)Q}{\partial x_f} = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\Phi)^2 Q^2 / A_f]}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (3.13)$$

Dalam kedua persamaan di atas, subskrip c mengacu pada alur utama dan subskrip f mengacu pada bantaran. Persamaan di atas dijabarkan dengan pendekatan beda hingga implisit dan persamaan yang diperoleh diselesaikan

dengan cara iterasi Newton-Raphson. Barkau (1982) menyempurnakan cara penyelesaian di atas dengan menjabarkan kedua persamaan ke dalam bentuk beda hingga yang penyelesaiannya lebih efisien dan stabil.

3.4 Analisis Stabilitas Alur

Bila air mengalir dalam sebuah saluran, maka pada dasar saluran akan timbul suatu gaya bekerja searah dengan arah aliran. Gaya ini yang merupakan gaya tarik pada penampang basah disebut gaya seret atau tegangan geser (*tractive force*).

Butiran pembentuk alur sungai harus stabil terhadap aliran yang terjadi. Karena pengaruh kecepatan, aliran dapat mengakibatkan gerusan pada talud dan dasar sungai. Aliran air sungai akan memberikan tegangan geser (τ_0) pada penampang sungai yang besarnya adalah :

$$\tau_0 = \rho_w g h I \quad (3.14)$$

dimana :

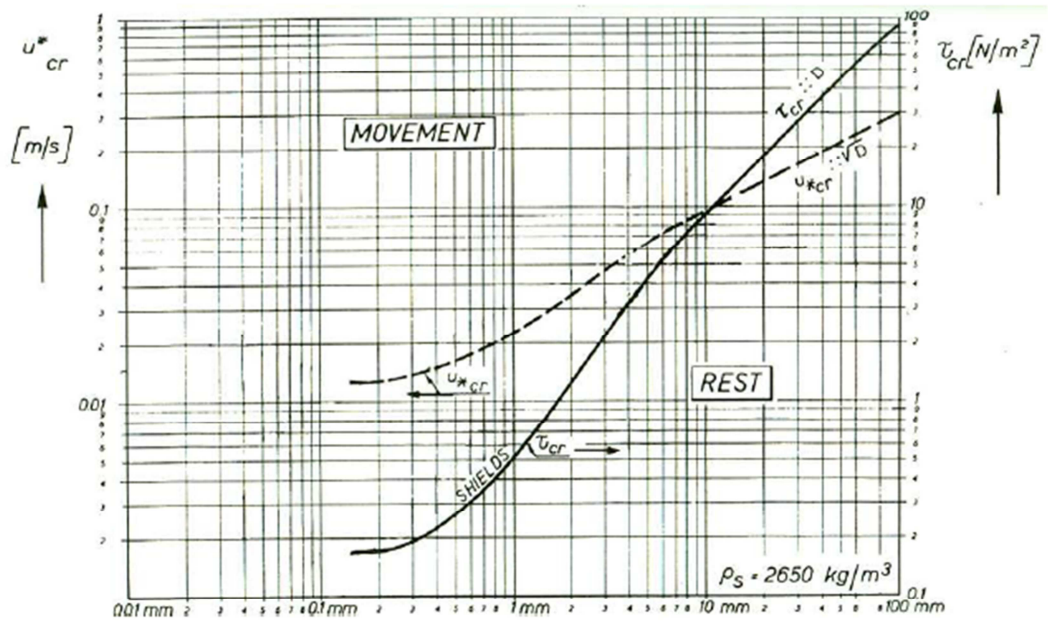
ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I = kemiringan alur dasar sungai

Erosi dasar sungai terjadi jika τ_0 lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_{cr}) pada dasar dan tebing sungai. Tegangan geser kritis adalah tegangan geser yang terjadi tepat pada saat butiran akan bergerak. Besarnya tegangan geser kritis didapatkan dengan menggunakan Grafik *Shield* (dapat dilihat pada Gambar 3.4) dengan menggunakan data ukuran butiran tanah dasar sungai.



Sumber: Ven Te Chow, 1985

Gambar 3.4 Grafik *Shield*.

Kecepatan aliran sungai juga mempengaruhi terjadinya erosi sungai. Kecepatan aliran yang menimbulkan terjadinya tegangan seret kritis disebut kecepatan kritis (V_{cr}).

1. Tegangan Geser Pada Dasar Sungai

Besarnya tegangan geser yang terjadi pada dasar sungai adalah :

$$\tau_b = 0,97 \rho_w g h I_b \tag{3.15}$$

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat $\tau_b = \tau_{cr,b}$,

maka :

$$0,97 \rho_w g h I_b = \tau_{cr,b} \tag{3.16}$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr,b}}{0,97 \rho_w g h} \tag{3.17}$$

$$V_{cr,b} = \frac{1}{n} R^{2/3} I_b^{1/2} \tag{3.18}$$

2. Tegangan Geser Pada Tebing Sungai

Besarnya tegangan geser yang terjadi pada dasar sungai adalah :

$$\tau_s = 0,75 \rho_w g h I_s \quad (3.19)$$

Erosi dasar sungai juga dapat terjadi jika τ_s lebih besar dari tegangan geser kritis pada lereng sungai ($\tau_{cr,s}$). tegangan geser kritis pada lereng sungai tergantung pada besarnya sudut lereng.

$$\tau_{cr,s} = K_\beta \tau_{cr} \quad (3.20)$$

$$K_\beta = \cos \beta \sqrt{1 - \left(\frac{tg\beta}{tg\phi}\right)^2} \quad (3.21)$$

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat $\tau_b = \tau_{cr,b}$,

maka :

$$0,75 \rho_w g h I_s = \tau_{cr,s} \quad (3.22)$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr,s}}{0,75 \rho_w g h} \quad (3.23)$$

$$V_{cr,s} = \frac{1}{n} R^{2/3} I_s^{1/2} \quad (3.24)$$

dimana :

τ_b = tegangan geser pada dasar sungai (kg/m^2)

$\tau_{cr,b}$ = tegangan geser kritis pada dasar sungai (kg/m^2)

τ_s = tegangan geser pada tebing sungai (kg/m^2)

τ_{cr} = tegangan geser kritis

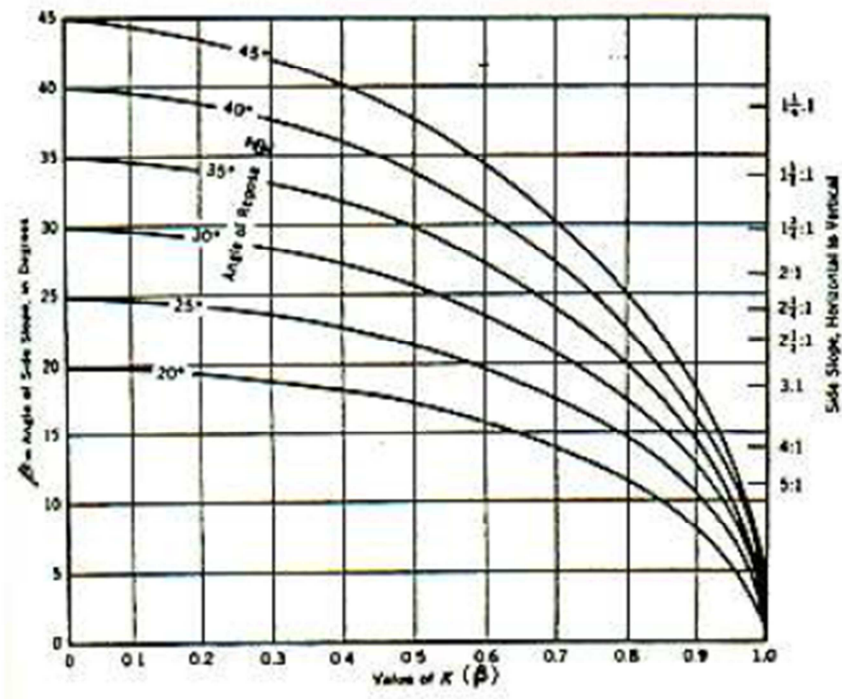
β = sudut lereng sungai ($^\circ$)

ϕ = 30-40 (tergantung diameter butiran dari grafik pada Gambar 3.5)

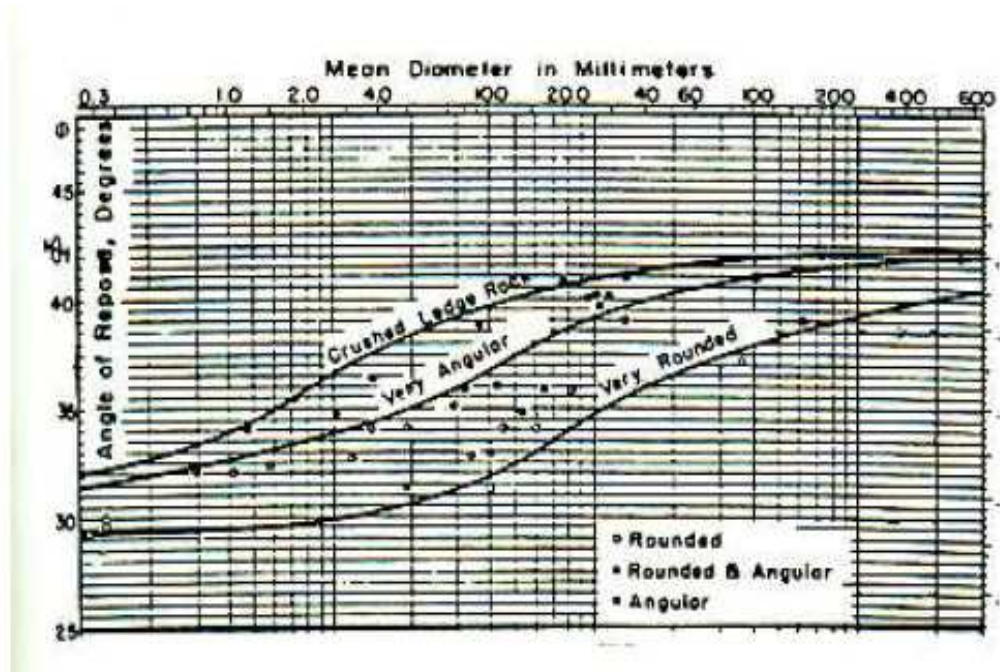
$\tau_{cr,s}$ = tegangan geser kritis pada tebing sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

- g = gaya gravitasi (m/dt^2)
 h = tinggi air (m)
 I_b = kemiringan alur dasar sungai
 $V_{cr.b}$ = kecepatan kritis dasar sungai (m/dt)
 I_s = kemiringan alur tebing sungai
 $V_{cr.s}$ = kecepatan kritis tebing sungai (m/dt)
 I_b = kemiringan alur dasar sungai
 $V_{cr.b}$ = kecepatan kritis dasar sungai (m/dt)
 R = jari-jari hidrolik (m)
 n = angka kekasaran Manning



Gambar 3.5 Grafik hubungan antara diameter butiran dan Φ



Sumber: Ven Te Chow, 1985

Gambar 3.5 Lanjutan.

3.5 Angka Kekasaran Manning

Pada tahun 1889 seorang insinyur Irlandia, Robert Manning mengemukakan sebuah rumus yang akhirnya diperbaiki menjadi rumus yang sangat dikenal sebagai :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.25)$$

dimana :

V = kecepatan rata-rata (m/dt)

R = jari-jari hidrolis (m)

S = kemiringan saluran

n = kekasaran dari *Manning*.

Rumus ini dikembangkan dari tujuh rumus berbeda, berdasarkan data percobaan *Bazin* yang selanjutnya dicocokkan dengan 170 percobaan. Akibat sederhananya rumus ini dan hasilnya yang memuaskan dalam pemakaian praktis, rumus *Manning* menjadi sangat banyak dipakai dibandingkan dengan rumus aliran seragam lainnya untuk menghitung aliran saluran terbuka.

Angka kekasaran manning adalah suatu nilai koefisien yang menunjukkan kekasaran suatu permukaan saluran atau sungai baik pada sisi maupun dasar saluran atau sungai. Nilai kekasaran manning memiliki hubungan terhadap kecepatan aliran yang terjadi pada suatu penampang. Semakin besar nilai angka kekasaran manning, maka kecepatan aliran pada suatu penampang akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya semakin kecil angka kekasaran manning maka kecepatan aliran yang terjadi pada suatu penampang akan semakin besar.

Nilai angka kekasaran manning berbeda-beda tergantung dari tipe saluran. Adapun nilai angka kekasaran manning tersebut disajikan pada Tabel 2.1 Angka kekasaran manning.

Tabel 3.1 Angka kekasaran Manning

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
A. Saluran, dilapis atau dipoles			
A-1 Logam			
a. Baja dengan permukaan licin			
1. Tidak dicat	0,011	0,012	0,014
2. dicat	0,012	0,013	0,017

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
b. Baja dengan permukaan bergelombang	0,021	0,025	0,03
A-2 Bukan Logam			
a. Semen			
1. Acian	0,01	0,011	0,013
2. Adukan	0,011	0,013	0,015
b. Kayu			
1. Diserut, tidak diawetkan	0,01	0,012	0,014
2. Diserut, diawetkan dengan creosote	0,011	0,012	0,015
3. Tidak diserut	0,011	0,013	0,015
4. Papan	0,012	0,015	0,018
5. Dilapis dengan kertas kedap air	0,01	0,014	0,017
c. Beton			
1. Dipoles dengan sendok kayu	0,011	0,013	0,015
2. Dipoles sedikit	0,013	0,015	0,016
3. Dipoles	0,015	0,017	0,02
4. Tidak dipoles	0,014	0,017	0,02
5. Adukan semprot, penampang rata	0,016	0,019	0,023
6. Adukan semprot, penampang bergelombang	0,018	0,022	0,025
7. Pada galian batu yang teratur	0,017	0,02	
8. Pada galian batu yang tak teratur	0,022	0,027	

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
d. Dasar beton dipoles sedikit dengan tebing dari			
1. Batu teratur dalam adukan	0,015	0,017	0,02
2. Batu tak teratur dalam adukan	0,014	0,02	0,024
3. Adukan batu, semen, diplester	0,016	0,02	0,024
4. Adukan batu dan semen	0,02	0,025	0,03
5. Batu kosong atau rip-rap	0,02	0,03	0,035
e. Dasar kerikil dengan tebing dari			
1. Batu acuan	0,017	0,02	0,025
2. Batu tak teratur dalam adukan	0,02	0,023	0,026
3. Batu kosong atau rip-rap	0,023	0,033	0,036
f. Bata			
1. Diglasir	0,011	0,013	0,015
2. Dalam adukan semen	0,012	0,015	0,018
g. Pasangan batu			
1. Batu pecah disemen	0,017	0,025	0,03
2. Batu kosong	0,023	0,032	0,035
h. Batu potong, diatur	0,013	0,015	0,017
i. Aspal			
1. Halus	0,013	0,013	
2. Kasar	0,016	0,016	
j. Lapisan dari tanaman	0,03		0,05

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
B. Digali atau dikeruk			
a. Tanah lurus dan seragam			
1. Bersih, baru dibuat	0,016	0,018	0,02
2. Bersih, telah melapuk	0,018	0,022	0,025
3. Kerikil, penampang seragam, bersih	0,022	0,025	0,03
4. Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
b. Tanah, berkelok-kelok dan tenang			
1. Tanah tetumbuhan	0,023	0,025	0,03
2. Rumput dengan beberapa tanaman pengganggu	0,025	0,03	0,033
3. Banyak tanaman pengganggu atau tanaman air pada saluran yang dalam	0,03	0,035	0,04
4. Dasar tanah dengan tebing dari batu pecah	0,028	0,03	0,035
5. Dasar berbatu dengan tanaman pengganggu pada tebing	0,025	0,035	0,04
6. Dasar berkerakal dengan tebing yang bersih	0,03	0,04	0,05

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
c. Hasil galian atau kerukan			
1. Tanpa tetumbuhan	0,025	0,028	0,033
2. Semak-semak kecil di tebing	0,035	0,05	0,06
d. Pecahan batu			
1. Halus, seragam	0,025	0,035	0,04
2. Tajam, tidak beraturan	0,035	0,04	0,05
e. Saluran tidak dirawat, dengan tanaman pengganggu dan belukar tidak dipotong			
1. Banyak tanaman pengganggu setinggi air	0,05	0,08	0,12
2. Dasar bersih, belukar di tebing	0,04	0,05	0,08
3. Idem, setinggi muka air tertinggi	0,045	0,07	0,11
4. Banyak belukar setinggi air banjir	0,08	0,1	0,14
C. Saluran Alam			
C-1 Saluran kecil (lebih atas pada taraf banjir < 100 kaki)			
a. Saluran di daratan			
1. Bersih lurus, terisi penuh, tanpa rekahan atau ceruk dalam	0,025	0,03	0,033
2. Seperti di atas, banyak batu-batu, tanaman pengganggu	0,03	0,035	0,04

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
3. Bersih, berkelok-kelok, berceruk, bertebing	0,033	0,04	0,045
4. Seperti di atas, dengan batu-batu, tanaman pengganggu	0,035	0,045	0,05
5. Seperti di atas, tidak terisi penuh, banyak kemiringan dan penampang yang kurang efektif	0,04	0,048	0,055
6. Tenang pada bagian lurus, tanaman pengganggu, ceruk dalam	0,05	0,07	0,08
b. Saluran di pegunungan, tanpa tetumbuhan di saluran tebing umumnya terjal, pohon dan semak-semak sepanjang tebing			
1. Dasar: kerikil, kerakal dan sedikit batu besar	0,03	0,04	0,05
2. Dasar: kerakal dengan batu besar	0,04	0,05	0,07
C-2 Dataran Banjir			
a. Padang rumput tanpa belukar			
1. Rumput pendek	0,025	0,03	0,035
2. Rumput tinggi	0,03	0,035	0,05

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
1. Tanpa tanaman	0,02	0,03	0,04
2. Tanaman dibariskan	0,025	0,035	0,045
3. Tanaman tidak dibariskan	0,03	0,04	0,05
c. Belukar			
1. Belukar terpecah, banyak tanaman pengganggu	0,035	0,05	0,07
2. Belukar jarang dan pohon, musim dingin	0,035	0,05	0,06
3. Belukar jarang dan pohon, musim semi	0,04	0,06	0,08
4. Belukar sedang sampai rapat, musim dingin	0,045	0,07	0,11
5. Belukar sedang sampai rapat, musim semi	0,07	0,1	0,16

Sumber : Manual HEC-RAS (2010)

BAB 4

METODE PENELITIAN

Metode penelitian disusun untuk mengarahkan langkah-langkah penelitian agar tujuan penelitian dapat dicapai dengan benar. Garis besar dari metode penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada langkah ini peneliti melakukan kajian tentang pustaka atau literatur yang berkaitan dengan angkutan sedimen yang berasal letusan Gunung Merapi. Beberapa penelitian yang berkaitan dengan Sungai Progo juga digunakan sebagai referensi. Pengaruh dari lahar dingin sebagai *bedload transport* dalam kaitannya dengan proses terjadinya erosi tebing sungai dilakukan pada tahap ini. Infrastruktur yang ada di sungai juga ditelaah di tahap ini. Hasil dari studi literatur digunakan sebagai dasar melakukan langkah berikutnya. Parameter-parameter lapangan juga sudah ditentukan pada tahap ini.

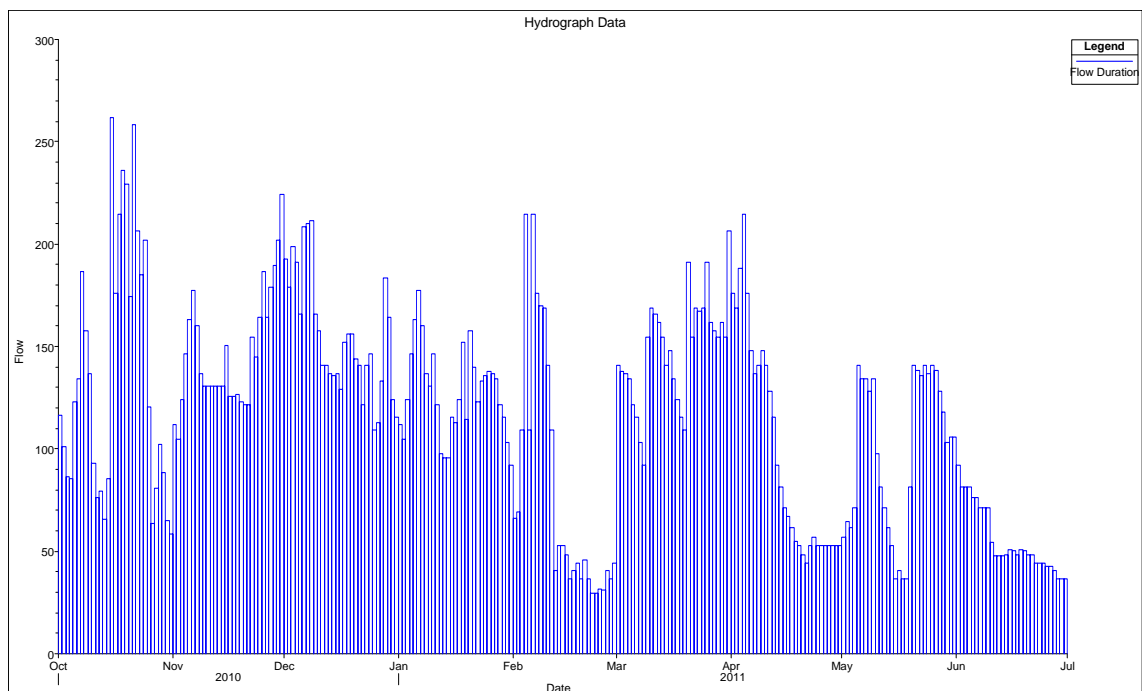
2. Penentuan lokasi penelitian

Setelah melakukan kajian literatur, maka tahap berikutnya adalah penentuan lokasi penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses degradasi dan aggradasi Sungai Progo sebagai akibat letusan Gunung Merapi 2010. Bagian DAS Progo yang berada di hulu, mempunyai mata air di gunung-gunung yang sudah tidak aktif lagi. Dengan dasar tersebut maka lokasi atau pias Sungai Progo yang diteliti adalah sungai bagian tengah ke hilir.

3. Pengumpulan data sekunder.

Setelah lokasi penelitian ditetapkan maka dilakukan pengumpulan data-data

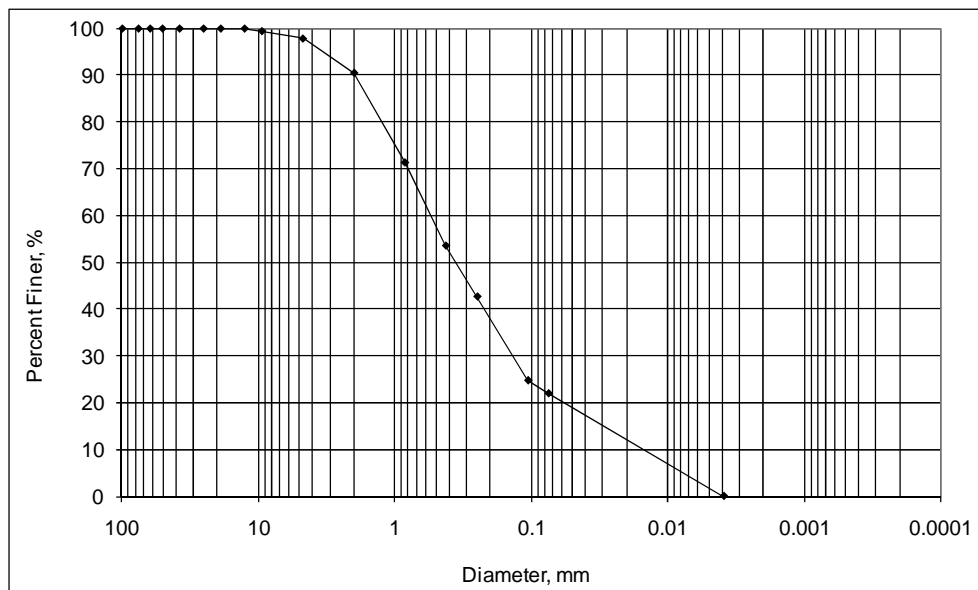
sekunder. Data-data tersebut meliputi, data layout sungai, data layout sungai diambil dari peta rupa bumi yang dikeluarkan oleh Badan Koordinasi Survei Tanah Nasional (BAKOSURTANAL). Data layout tersebut meliputi trace sungai, lebar sungai dan kontur sungai. Data debit, data debit digunakan untuk membuat simulasi aliran sungai dengan menggunakan suatu perangkat lunak. Data debit ini merupakan data pengukuran oleh instansi terkait, yaitu Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Progo Opak Oyo. Data debit yang digunakan dalam penelitian ini adalah data debit yang terjadi pada bulan-bulan setelah terjadi letusan Gunung Merapi. Data debit merupakan data harian rata-rata, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Data debit tersebut dari bulan Oktober 2010 sampai dengan bulan Juli 2011.



Gambar 4.1 Debit harian rata-rata Sungai Progo di stasiun AWLR Duwet.

4. Pengumpulan data primer

Pada langkah ini dilakukan pengumpulan data-data lapangan yang berkaitan dengan penelitian. Kondisi morfologi sungai dan bangunan atau struktur di data sesuai kondisi saat ini. Survei lapangan dilaksanakan dengan melakukan penelusuran sungai, pengecekan kondisi struktur dan pengambilan material dasar sungai. Material dasar sungai diambil dan dilakukan analisa distribusi ukuran butiran sedimen. Material dasar untuk Sungai Progo seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



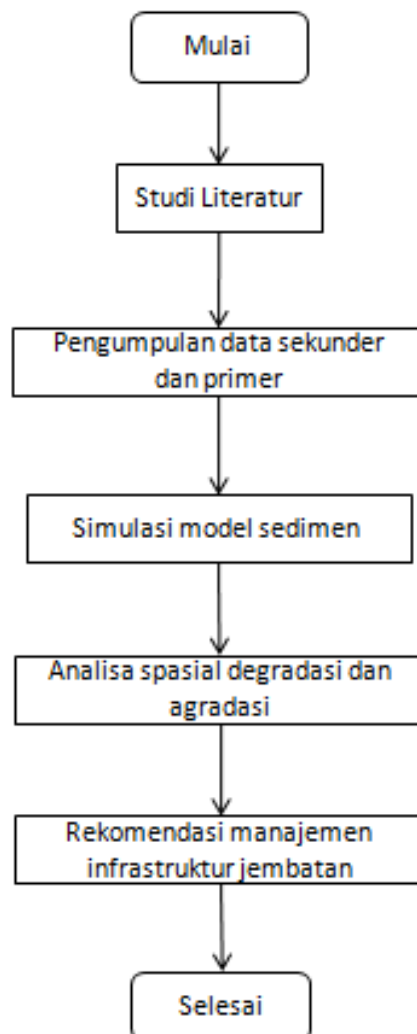
Gambar 4.2 Distribusi sedimen dasar Sungai Progo

5. Data pengukuran kecepatan aliran

Data kecepatan aliran dan data muka air di lokasi Jembatan Kebon Agung II. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan pelampung. Pada arah melebar dibagi menjadi tiga bagian dan masing masing bagian diukur

kecepatan dan kedalaman aliran. Pada masing masing bagian tersebut pengukuran kecepatan dan kedalaman dilakukan sebanyak tiga kali.

Secara garis besar langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 4.3 Diagram langkah penelitian

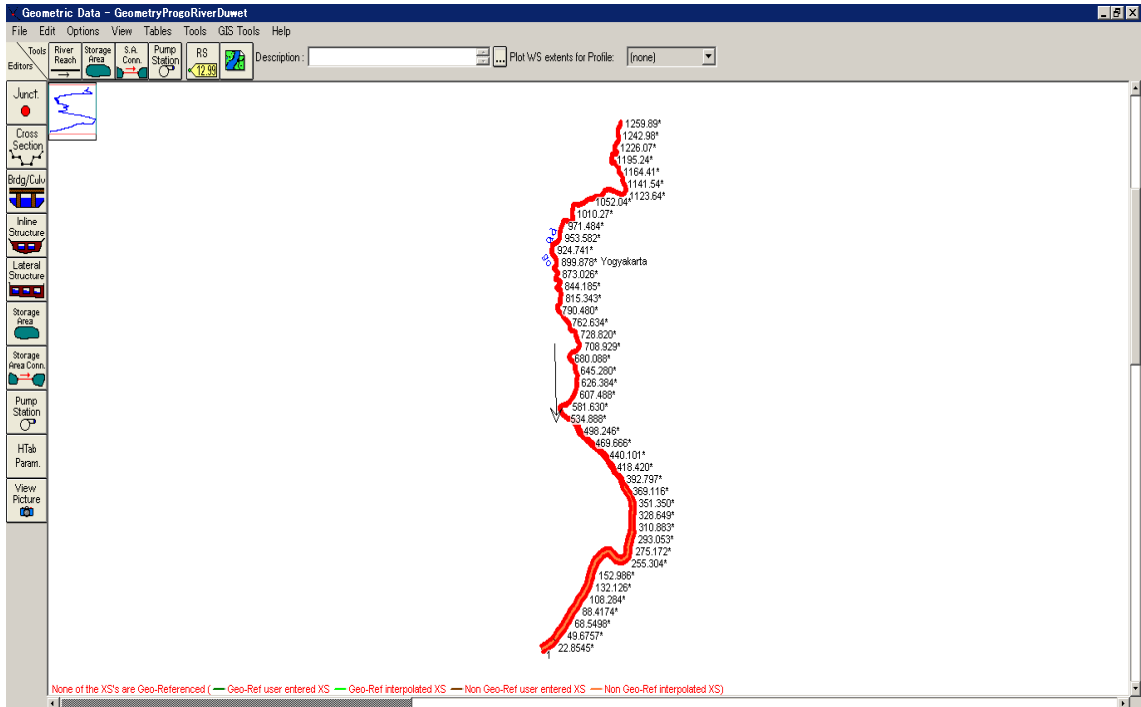
BAB 5

SIMULASI MODEL MATEMATIK

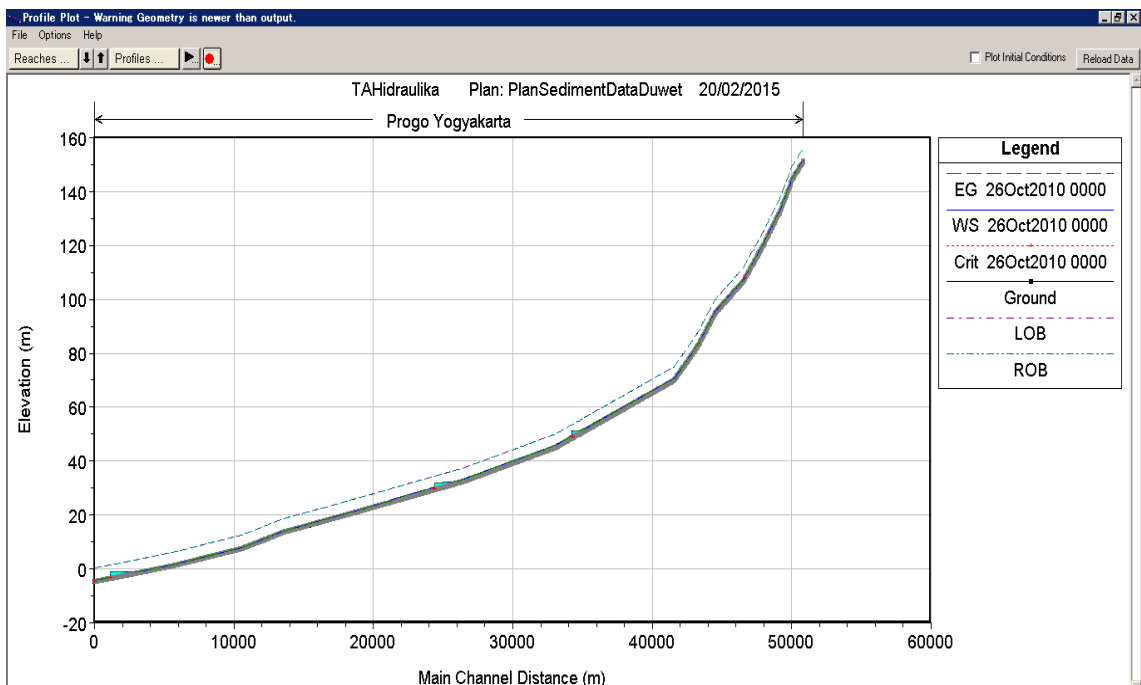
HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, River Analysis System (RAS), yang dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam Institute for Water Resources (IWR), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*) (USACE, 2010). HEC-RAS versi terbaru saat ini adalah Versi 4.1 yang beredar sejak Januari 2010. Perangkat lunak ini juga mampu untuk analisa proses agradasi dan degradasi dasar sungai.

5.1 Geometri Model

Untuk membuat simulasi aliran dan morfologi sungai diperlukan layout sungai. Layout sungai dibuat dari data sekunder, yaitu peta Sungai Progo yang diambil dari peta RBI Yogyakarta. Agar layout model sesuai dengan kondisi geometri yang sebenarnya, koordinat trace sungai disesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya. Koordinat tiap titik sungai menggunakan UTM. Proses digitasi sungai menggunakan perangkat lunak pemetaan. Dengan perangkat lunak ini semua data hasil digitasi dapat langsung dibaca ke *software* HEC RAS. Gambar 5.1 menunjukkan pias sungai yang dimodelkan (pias sungai di dalam inset). Hasil digitasi geometri sungai yang dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 5.2. Untuk kemiringan sungai, pada penelitian ini dilakukan dengan data kontur yang diperoleh dari peta RBI. Tampilan kemiringan sungai pada model dapat dilihat pada Gambar 5.3



Gambar 5.2 Layout geometri Sungai Progo dalam model HEC RAS



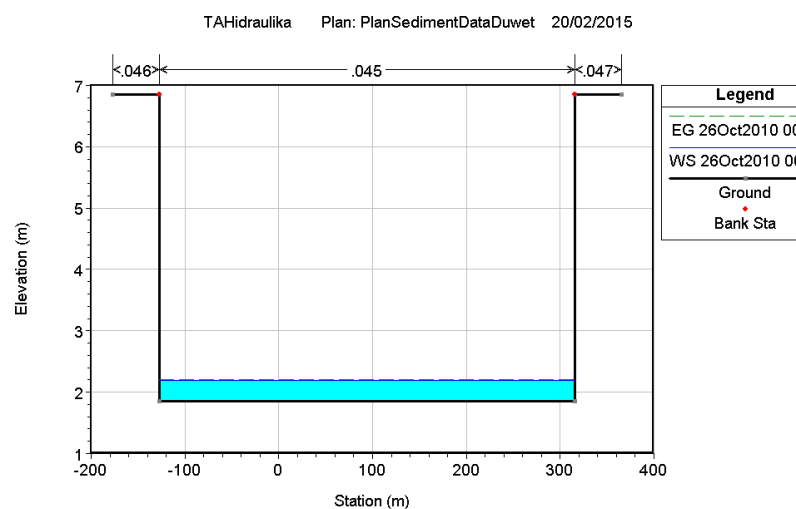
Gambar 5.3 Profil kemiringan sungai pada model

5.2 Tampang Melintang Model

Setelah geometri sungai dimodelkan, maka langkah selanjutnya adalah memodelkan tampang melintang dari sungai. Pada penelitian ini dilakukan penyederhanaan tampang melintang sungai dengan alasan bahwa data ini sangat sulit dicari. Karena untuk mengukur tampang melintang sungai dengan panjang puluhan km diperlukan dana yang tidak sedikit. Alasan yang kedua adalah karena lebar sungai melebihi sepuluh kali lipat dari kedalaman rata-rata aliran. Sehingga sungai dianggap saluran dengan tampang lebar. Sehingga pendekatan tampang melintang sungai seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.4. Jarak antar tampang melintang dalam model dibuat dengan ketentuan sebagai berikut:

- Untuk pias sungai yang lurus jarak antar tampang melintang 50 sd 100 m.
- Untuk pias sungai yang berbelok jarak antar tampang melintang kurang dari 25 m.

Parameter aliran penting yang diinput pada data tampang melintang adalah angka kekasaran aliran atau angka kekasaran manning.



Gambar 5.4 Contoh tampilan tampang melintang sungai

Reach: Yogyakarta River Sta.: 141.066*

Description

Del Row Ins Row

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	-176.804	6.851
2	-126.804	6.851
3	-126.804	1.851
4	315.475	1.851
5	315.475	6.851
6	365.475	6.851
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
39.4	25	24.5

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.046	0.045	0.047

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
-126.804	315.475

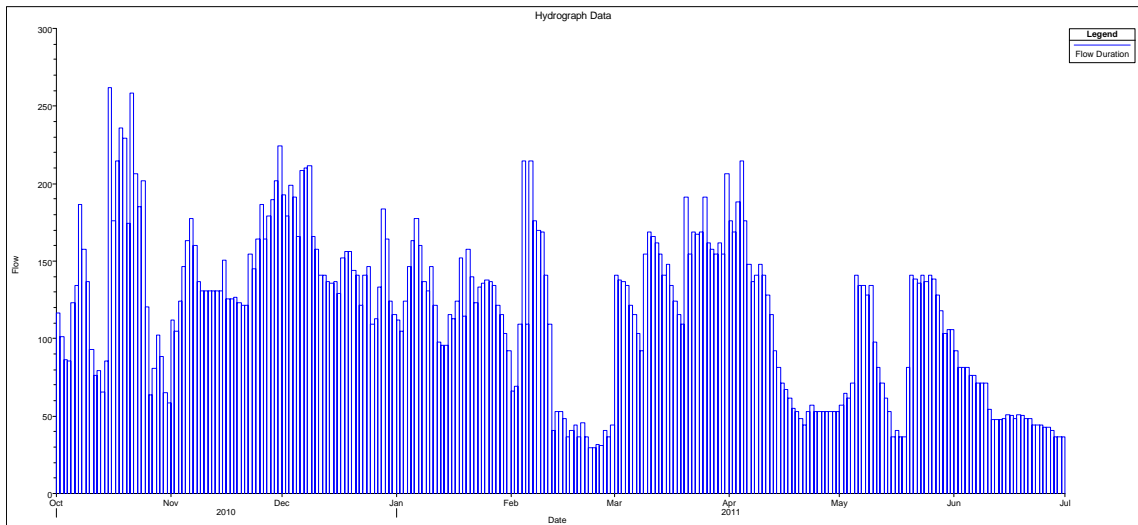
Cont\Exp Coefficient (Steady Flow)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3

Gambar 5.5 Parameter penting dalam input tampang melintang sungai

Pada penelitian ini, nilai angka kekasaran manning dilakukan penyederhanaan. Angka kekasaran dibuat seragam dari hulu ke hilir untuk tiap sisi alur dalam model. Tiap tampang aliran di dalam model dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian saluran (Channel), bagian kiri (LOB) dan bagian kanan (ROB). Angka kekasaran manning diperoleh dengan melakukan kalibrasi hidrolika. Kalibrasi dilakukan dengan cara melakukan simulasi awal dengan data debit dari pengukuran. Selanjutnya hasil simulasi kecepatan di Jembatan Kebon Agung II dibandingkan dengan hasil pengukuran dilapangan. Parameter kekasaran manning dirubah-rubah agar kecepatan yang terjadi mendekati dengan hasil pengukuran di lapangan. Setelah diperoleh angka kekasaran manning model maka angka tersebut digunakan untuk simulasi secara keseluruhan.

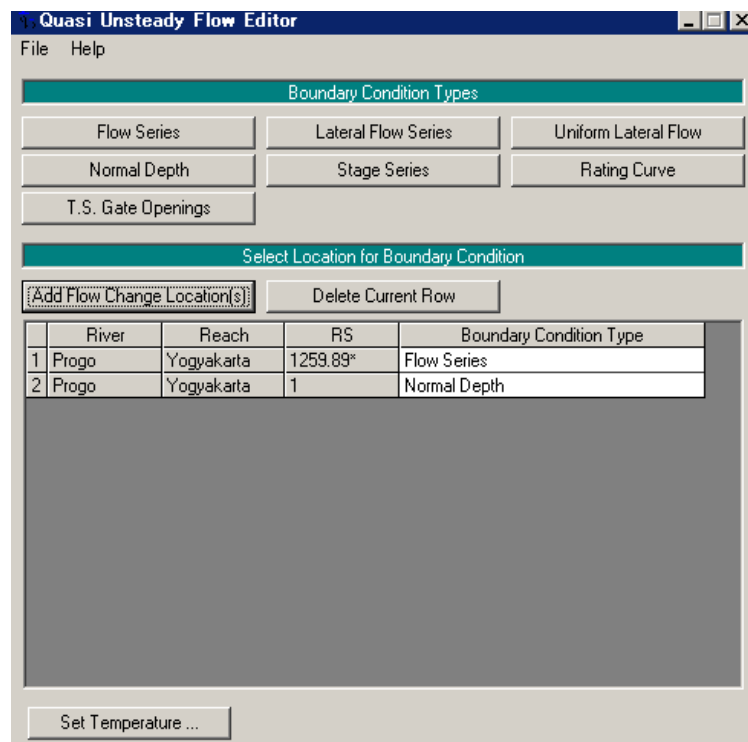
5.3 Kondisi Batas Model

Kondisi batas meliputi kondisi hulu dan hilir. Untuk kondisi batas hulu adalah debit aliran (*flow series*) sungai yang diperoleh dari BBWS. Debit tersebut merupakan data debit rerata harian. Debit model dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Kondisi batas hulu model HEC RAS

Kondisi batas hilir adalah kedalaman aliran normal (*normal depth*). Dalam kondisi ini batas hilir berupa muka air dan akan ditentukan sendiri oleh model matematik. Input yang dipakai adalah kemiringan dasar saluran rata-rata. Tampilan input model HEC RAS kondisi batas dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Model input kondisi batas hulu dan hilir

5.4 Data Sedimen

Untuk membuat simulasi sedimen maka diperlukan data sedimen. Data sedimen ini diperoleh dari pengambilan sampel material dasar dari sungai. Material sedimen yang digunakan dalam input model adalah sebagai berikut:

Sediment Data - SedimentDataOct-NovDuwet

File Options View Help

Initial Conditions and Transport Parameters | Boundary Conditions

River: (All Rivers) Transport Function: Ackers-White Define/Edit Bed Gradation ...

Reach: Sorting Method: Exner 5

Fall Velocity Method: Ruby

	River	Reach	RS	Invert	Sta Left	Sta Right	Bed Gradation
1	Progo	Yogyakarta	1259.89*	151.324	50	138.671	KebonAgungHulu
2	Progo	Yogyakarta	1258.89*	150.905	50	138.671	
3	Progo	Yogyakarta	1257.90*	150.49	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
4	Progo	Yogyakarta	1256.90*	150.072	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
5	Progo	Yogyakarta	1255.91*	149.658	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
6	Progo	Yogyakarta	1254.91*	149.241	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
7	Progo	Yogyakarta	1253.92*	148.827	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
8	Progo	Yogyakarta	1252.92*	148.41	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
9	Progo	Yogyakarta	1251.93*	147.993	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
10	Progo	Yogyakarta	1250.94*	147.578	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
11	Progo	Yogyakarta	1249.94*	147.164	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
12	Progo	Yogyakarta	1248.95*	146.751	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
13	Progo	Yogyakarta	1247.95*	146.33	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
14	Progo	Yogyakarta	1246.96*	145.909	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
15	Progo	Yogyakarta	1245.96*	145.496	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
16	Progo	Yogyakarta	1244.97*	145.082	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
17	Progo	Yogyakarta	1243.97*	144.654	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
18	Progo	Yogyakarta	1242.98*	143.789	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
19	Progo	Yogyakarta	1241.98*	143.126	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
20	Progo	Yogyakarta	1240.99*	142.467	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
21	Progo	Yogyakarta	1240.*	141.798	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
22	Progo	Yogyakarta	1239.00*	141.134	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
23	Progo	Yogyakarta	1238.01*	140.466	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
24	Progo	Yogyakarta	1237.01*	139.798	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
25	Progo	Yogyakarta	1236.02*	139.46	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
26	Progo	Yogyakarta	1235.02*	138.796	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
27	Progo	Yogyakarta	1234.03*	138.468	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
28	Progo	Yogyakarta	1233.03*	137.803	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
29	Progo	Yogyakarta	1232.04*	137.143	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
30	Progo	Yogyakarta	1231.05*	136.481	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
31	Progo	Yogyakarta	1230.05*	135.82	50	138.671	Copy KebonAgungHulu
32	Progo	Yogyakarta	1229.06*	135.162	50	138.671	Copy KebonAgungHulu

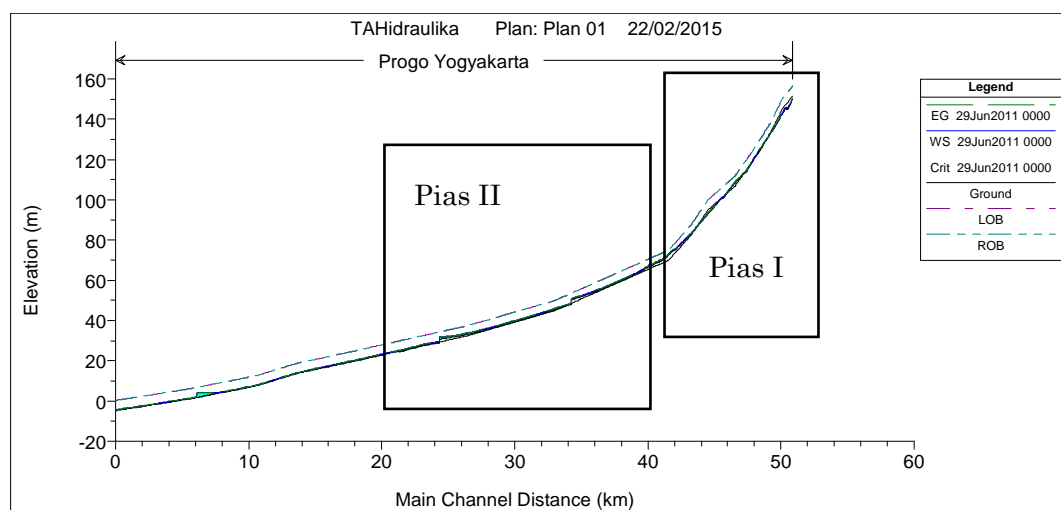
Use Banks for Extents Interpolate Gradations

Gambar 5.8 *Input* material sedimen pada tiap tampang melintang

BAB 6

HASIL DAN PEMBAHASAN

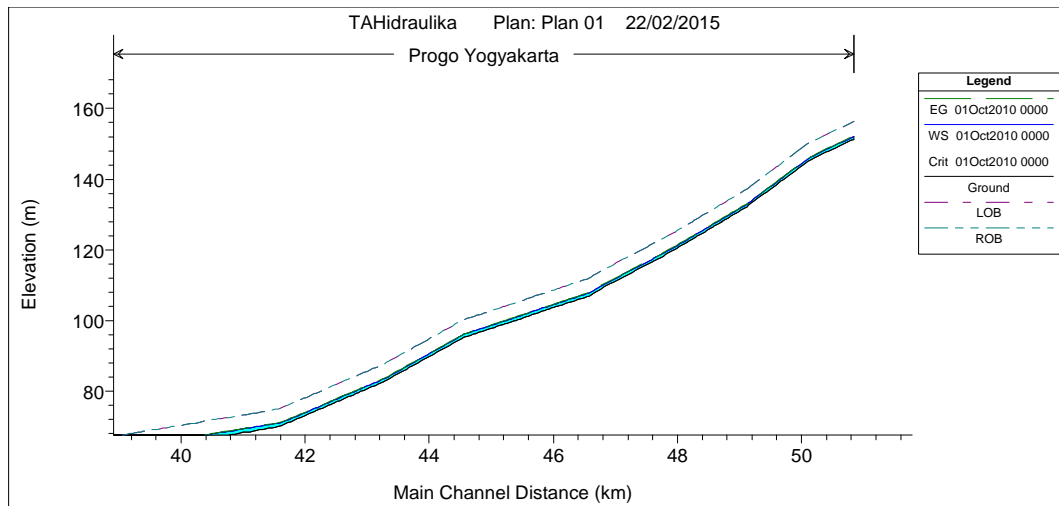
Berdasarkan hasil simulasi aliran dengan *transport* sedimen selanjutnya dilakukan analisa proses aggradasi dan degradasi dasar sungai. Hal ini dilakukan dalam upaya mendapatkan informasi tentang lokasi-lokasi yang mengalami degradasi dan lokasi-lokasi yang mengalami aggradasi. Untuk membuat analisa tersebut maka dibuat potongan memanjang dari profil dasar sungai pada tiap bulan. Pada analisa ini dibedakan menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah pias sungai yang kemiringannya cukup curam yaitu 0.007. Pias tersebut dimulai dari Jembatan Kebon Agung II ke arah hulu. Selanjutnya dalam pembahasan disebut Pias I. Bagian yang kedua adalah dari Jembatan Kebon Agung II ke arah hilir. Kemiringan dasar sungai pada pias ini adalah berkisar 0.0015. Selanjutnya dalam pembahasan disebut Pias II.



Gambar 6.1 Pembagian nama pias dalam pembahasan

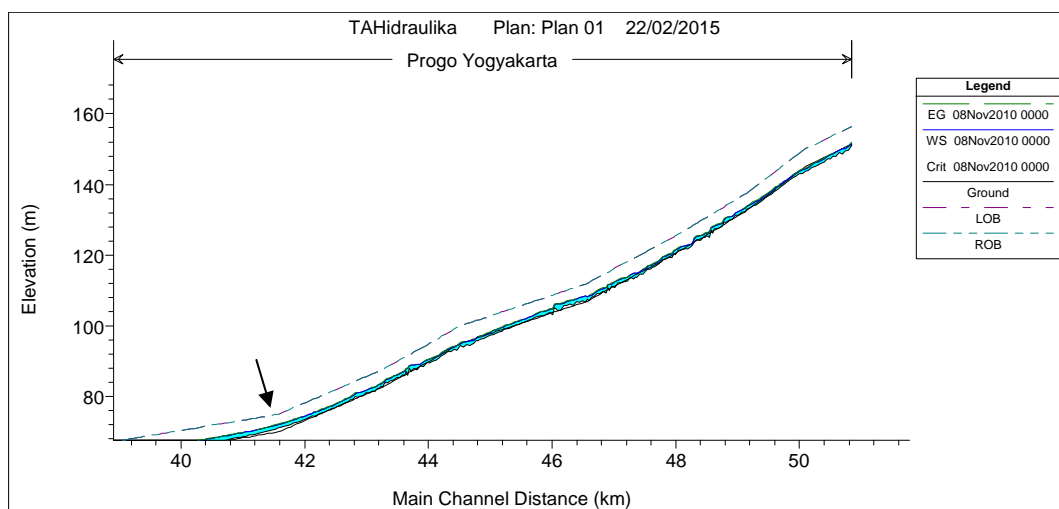
6.1 Morfologi Sungai Pias Antara Jembatan Kebon Agung II s/d Duwet

Gambar 6.2 s/d Gambar 6.9 menunjukkan perubahan dasar sungai tiap bulan, dimulai awal Oktober sampai dengan bulan Juni. Pada awal Oktober kondisi aliran sungai belum memperoleh sedimen suplai dari lahar dingin (Gambar 6.1).



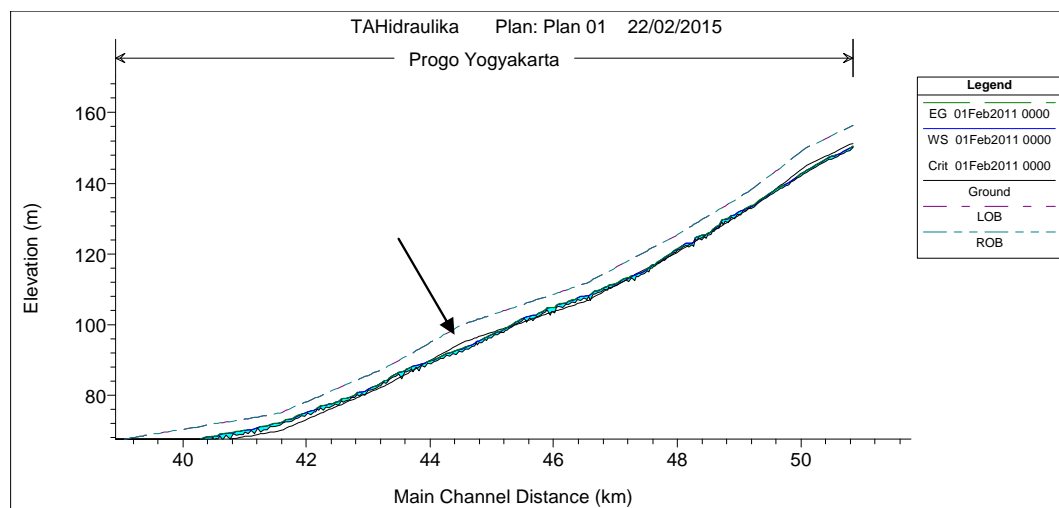
Gambar 6.2 Kondisi dasar sungai pada awal Oktober Pias I

Tanggal 26 Oktober 2010 terjadi letusan Gunung Merapi. Setelah dua hari dari letusan diasumsikan lahar sudah mulai masuk Sungai Progo. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 6.2.



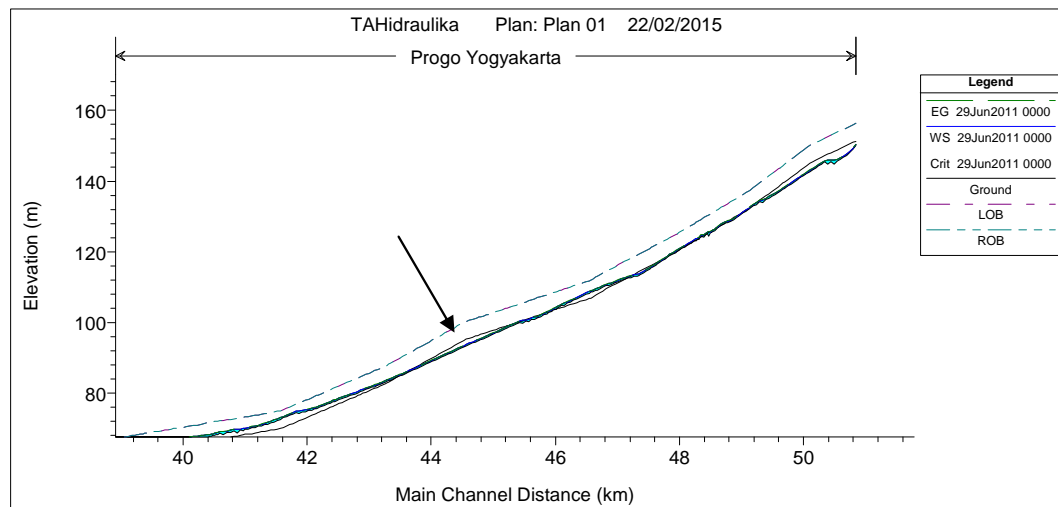
Gambar 6.3 Kondisi dasar sungai pada awal November Pias I

Dari hasil simulasi terlihat bahwa morfologi sungai sudah mulai berubah akibat sedimen suplai berlebih dari banjir lahar. Beberapa lokasi cenderung sudah menampakkan terjadinya sedimentasi. Seperti yang ditunjukkan dengan panah pada Gambar 6.2 adalah lokasi Jembatan Kebon Agung II yang sudah mengalami sedimentasi. Selanjutnya perubahan morfologi sungai pada tiap bulannya disajikan pada gambar berikut:



Gambar 6.4 Morfologi sungai pada awal Februari 2011 Pias I

Dari gambar di atas terlihat lokasi Jembatan Kebun Agung 2 mengalami sedimentasi. Sedangkan beberapa pias disebelah hulu mengalami degradasi (seperti ditunjukkan oleh anak panah). Proses degradasi dapat diketahui bahwa elevasi muka air pada tanggal tersebut berada di bawah elevasi dasar sungai kondisi awal. Proses degradasi tersebut terus berlanjut sampai dengan bulan Juni.



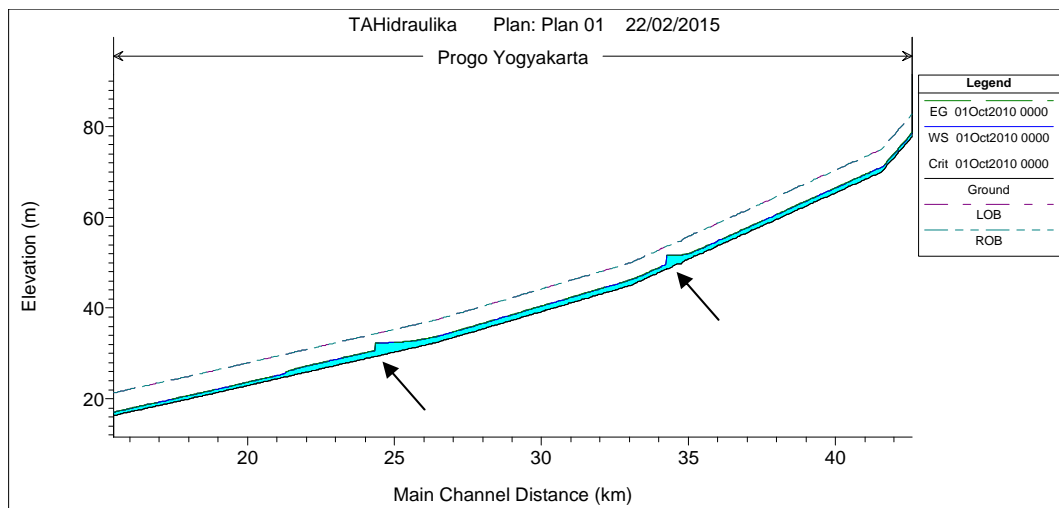
Gambar 6.5 Morfologi sungai pada awal Juni 2011 Pias I

Proses degradasi sungai tersebut mengindikasikan bahwa sedimen suplai dari lahar dingin adalah kecil atau sudah tidak ada lagi. Dari hasil simulasi tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa sedimen suplai yang berlebih dari lahar tidak memberikan efek sedimentasi yang berlebih pada pias Sungai Progo dari Jembatan Kebon Agung II ke arah hulu. Akan tetapi setelah sedimen suplai dihentikan maka yang terjadi adalah proses degradasi dasar sungai yang berlebih. Hal ini mengindikasikan dengan jelas bahwa dengan tidak adanya sedimen suplai dari atas, maka dasar sungai akan selalu tergerus. Hal ini juga disebabkan oleh kemiringan sungai yang cukup tinggi pada pias sungai tersebut.

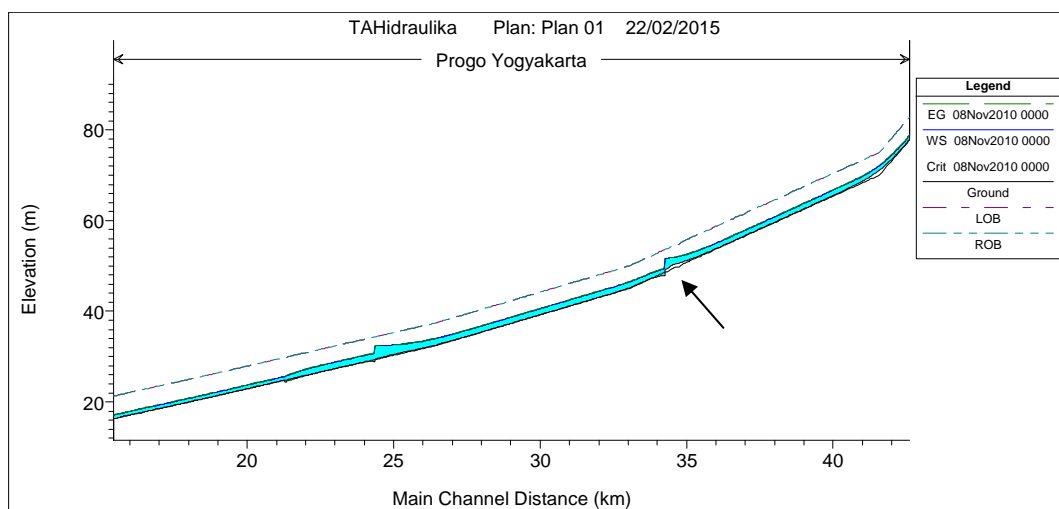
6.2 Morfologi Sungai Pias Antara Bantar dan Jembatan Kebon Agung II

Pada Pias II terdapat dua *groundsill* yang digunakan sebagai pelindung pilar jembatan dari proses degradasi dasar sungai (ditunjukkan anak panah Gambar 6.6). Setelah terjadinya letusan Gunung Merapi, awal November penggunaan *groundsill* sudah memberikan efek pada proses degradasi dasar sungai. Seperti

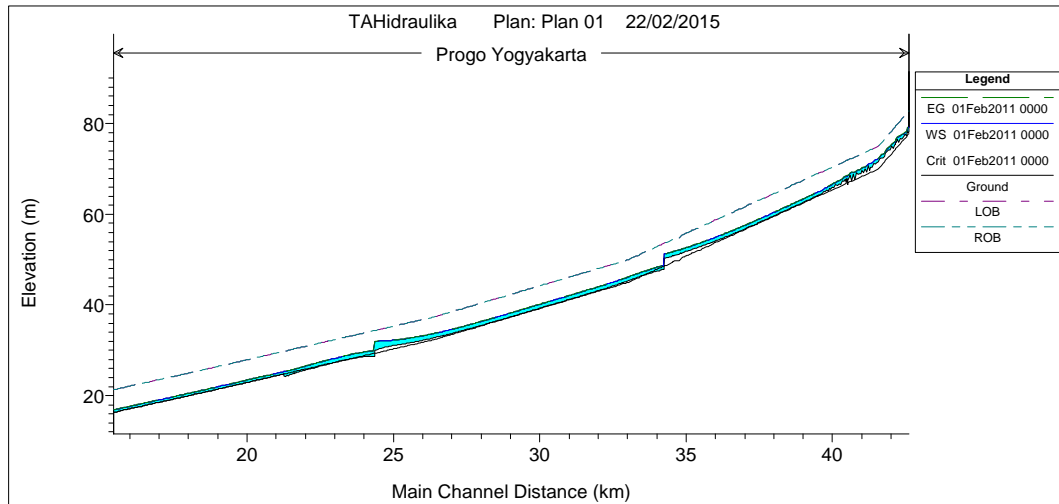
ditunjukkan pada anak panah di Gambar 6.7, agradasi di hulu *groundsill* mulai terjadi. Hal tersebut terus berlangsung sampai dengan akhir simulasi, bulan Juni. Proses degradasi dasar sungai pada Pias II ini hampir bisa dikatakan tidak terjadi. Dengan demikian bahwa efek dari konstruksi *groundsill* adalah hanya berpengaruh pada agradasi di hulu *groundsill*. Hal ini sudah dapat dipahami dengan baik bahwa fungsi *groundsill* adalah digunakan untuk mempertahankan kemiringan sungai, atau untuk mencegah terjadinya degradasi dasar sungai.



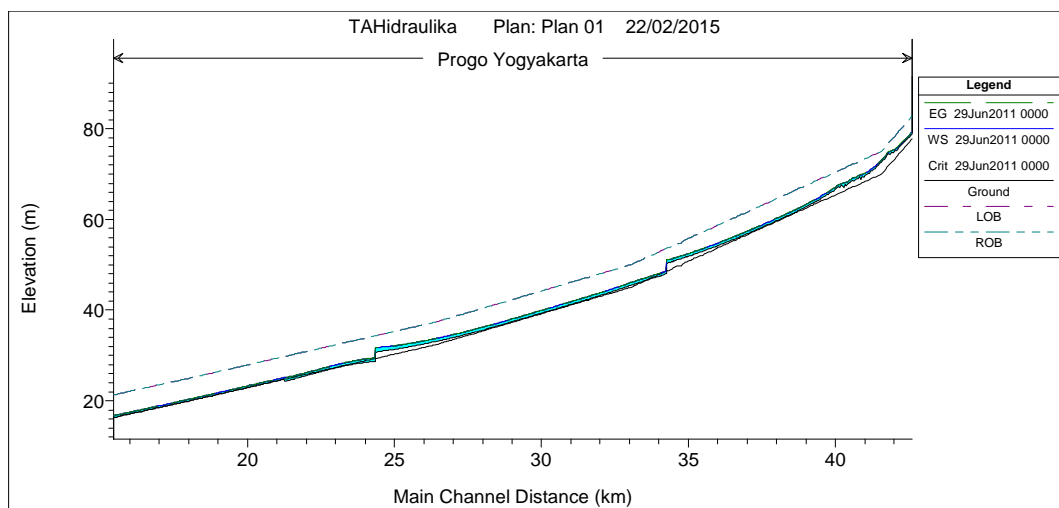
Gambar 6.6 Kondisi dasar sungai pada awal Oktober Pias II



Gambar 6.7 Kondisi dasar sungai pada awal November Pias II



Gambar 6.8 Morfologi sungai pada awal Februari 2011 Pias I



Gambar 6.9 Morfologi sungai pada awal Juni 2011 Pias II

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai karakteristik dan manajemen bencana sedimen dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa material lahar dari letusan Gunung Merapi memberikan dampak pada sedimentasi di Sungai Progo terutama di bagian hilir. Sedangkan proses erosi tebing sungai aktif terjadi hanya pada anak-anak sungai.
2. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa sedimen suplai dari lahar bermanfaat mencegah terjadinya degradasi berlebih. Hal ini terjadi kusus pada pias sungai dengan kemiringan cukup tinggi. Sehingga ketika sedimen suplai sudah tidak ada lagi maka proses degradasi dasar sungai akan terjadi. Hal ini memberi petunjuk bahwa penggalian material lahar di hulu haruslah dikelola dengan baik. Sebab jika material sedimen habis maka suplai sedimen ke Sungai Progo juga kecil, maka bahaya yang terjadi adalah bencana degradasi dasar sungai.
3. Pembangunan *groundsill* di Jembatan Srandakan, Bantar dan Kebon Agung I sanggup mengontrol proses degradasi dasar sungai.

7.2 Saran

Dari hasil penelitian dapat diperoleh beberapa saran sebagai berikut:

1. Pembangunan konstruksi *groundsill* di Jembatan Kebon Agung II sangat diperlukan. Hal ini untuk mencegah proses degradasi dasar sungai di daerah

antara Jembatan Kebon Agung II sampai dengan Duwet. Hasil simulasi menunjukkan bahwa proses degradasi terjadi setelah sedimen suplai dari lahar kecil atau bahkan hilang. Ini perlu menjadi kewaspadaan bagi pemerintah untuk memonitor terhadap bangunan bangun yang berada pada pias tersebut.

2. Simulasi proses morfologi sungai pada penelitian ini adalah dengan pendekatan satu dimensi. Peneliti menyarankan untuk dapat memberikan hasil yang lebih detil pada pias-pias tertentu, maka perlu membuat simulasi dua dimensi. Hal ini diperlukan karena mengingat hasil sedimentasi yang terjadi pada pias Jembatan Kebon Agung II (sebagai contoh) pada kenyataannya terjadi hanya pada salah satu sisi sungai saja. Sedangkan pada sisi sebaliknya terjadi erosi dasar sungai. Jika dibanding dengan simualsi ini, maka di Jembatan Kebon Agung hanya terjadi agradasi saja.

Aknowledgement

Peneliti mengucapkan kepada LP3M UMY yang telah memberikan dana penelitian, Tim Peneliti, serta Ahmad Azmi Fitriadin, Ahmad Hakim Bintang Kuncoro, Ilham Prayudha Utama, Barep Alamsyah, Rosa Indah Puspita, Katmirah dan Riya Purnama Sari yang telah membantu dalam survey lapangan dan pengolahan data di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashworth, P.J.: Mid-channel bar growth and its relationship to local flow strength and direction, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 21, pp. 103-123, 1996.
- Bridge, J.S., and Gabel, S.L.: Flow and sediment dynamics in a low sinuosity, braided river: Calamus River, Nebraska Sandhills, *Sedimentology*, Vol. 39, pp. 125-142, 1992.
- Carbonneau, P.E., and Bergeron, N.E.: The effect of bed-load *transport* on mean and turbulent flow properties, *Geomorphology*, Vol. 35, pp. 267-278, 2000.
- Dapporto, S., Rinaldi, M., Casagli, N., and Vannocci, P.: Mechanisms of riverbank failure along the Arno river, central Italy, *Earth Surf. Process. Landforms*, Vol. 28, pp. 1303–1323, 2003.
- Darby, S.E., and Thorne, C.R.: Development and testing of riverbank stability analysis, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 8, pp. 443-454, 1996.
- Duan, J.G.: Analytical approach to calculate rate of bank erosion, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 131, pp. 980-990, 2005.
- Hagerty, D.J., Spoor, M.F., and Unrich, C.R.: Bank failure and erosion on the Ohio River, *Engineering Geology*, Vol. 17, pp. 141–158, 1981.
- Hooke, J.M.: An analysis of the processes of river bank erosion, *Journal of Hydrology*, Vol. 42, pp. 39-62, 1979.
- Hooke, J.M.: The significance of mid-channel bars in an active meandering river, *Sedimentology*, Vol. 33, pp. 839-850, 1986.
- Kamphuis, J.W.: Influence of sand or gravel on the erosion of cohesive sediment, *J. of Hyd. Research*, Vol. 28, No. 1, pp. 43-53, 1990.
- Legono, D.: Flood Phenomena in Yogyakarta, Indonesia, *Discussion Handout*, Gadjah Mada University, 2008.
<http://djokolegono.staff.tsipil.ugm.ac.id/files/2008/06/fenomena-banjir-diy.pdf>
- Leopold, L.B. and Wolman, M.G.: River channel patterns: braided, meandering, and straight, *U.S. Geological Survey Prof. Paper 282-B*, pp 283-300, 1957.
- Osman, A.M., and Thorne, C.R.: Riverbank stability analysis I: Theory, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 114, No. 2, pp. 134-150, 1988.

Schumm, S.A.: Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains, *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 74, No. 9, pp. 1089-1099, 1963.

Schumm, S.A.: Fluvial geomorphology in river mechanics, *Water Resources Publication*, Fort Collins, Co., pp. 365-395, 1971.