

Pemodelan Penerapan Terowongan Air (*Tunnel*) dalam Mengatasi Banjir Akibat Luapan Sungai Deli

Ivan Indrawan

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Perpustakaan, Kampus USU, Padang Bulan, Medan 20155
E-mail: ivan.indrawan@usu.ac.id, ivanindrawan76@gmail.com

Riza Inanda Siregar

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Perpustakaan, Kampus USU, Padang Bulan, Medan 20155
E-mail: rizasiregar@usu.ac.id, rizawaloed@yahoo.com

Abstrak

Keterbatasan lahan untuk sistem pengendalian banjir di daerah perkotaan juga menjadi salah satu permasalahan. Berdasarkan hal tersebut, maka akan dianalisis sistem pengendalian banjir akibat meluapnya Sungai Deli dengan terowongan air (tunnel) dari bagian titik banjir Sungai Deli menuju muara Sungai di daerah Belawan. Tujuannya untuk menganalisis daerah genangan banjir dan mengurangi debit aliran dan beban Sungai Deli jika terjadi kenaikan debit air saat intensitas hujan di Kota Medan dan hulu Sungai Deli meningkat. Penerapan terowongan air (tunnel) tersebut sudah dilakukan di beberapa negara maju untuk menanggulangi banjir perkotaan akibat luapan sungai. Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan analisis penelusuran debit banjir metode Hidrograf Satuan Sintetis kemudian dilakukan pemodelan kondisi Sungai Deli sebelum dan sesudah ada tunnel dengan bantuan software HEC-RAS. Hasil yang diharapkan mampu menjadi salah satu solusi alternatif pengendalian banjir Kota Medan. Luas genangan banjir akibat luapan Sungai Deli untuk debit banjir kala ulang 25 tahun sebesar 3.69 Ha. Daerah yang berpotensi adanya genangan banjir pada 7 Kecamatan, yaitu Kecamatan Medan Johor, Medan Selayang, Medan Kota, Medan Petisah, Medan Maimun, Medan Perjuangan, Medan Barat. Posisi tunnel yang direkomendasikan berada di koordinat 3042'02.00" LU dan 98040'55.55" BT. Alternatif pengendalian banjir yang direkomendasikan adalah alternatif II dengan diameter terowongan air 5 meter.

Kata kunci: Banjir, HEC-RAS, Sungai Deli, Terowongan Air, Tunnel.

Abstract

Limited land for flood control systems in urban areas also becomes one of the problems. It will be analyzed flood control system due to overflow of Deli River with tunnel from the flood point of Deli River to the estuary in Belawan. The objective is to analyze the flooded areas and to reduce the flow and burden flow of the Deli River if there is an increase in water flow when the intensity of rain in Medan and upstream of the Deli River increases. The implementation of tunnels (tunnel) has been done in some developed countries to cope with urban flooding due to river overflow. The method that is done by doing analysis of flood discharge search of Hydrograph Unit Synthetic method then modeled the condition of Deli River before and after there tunnel with the help of HEC-RAS software. Expected results can be one alternative solution to flood control of Medan City. The extent of flood inundation due to overflow of Deli River to flood discharge when re-25 years of 3.69 Ha. Potentially flooded areas in 7 sub-districts, namely Medan Johor District, Selayang Medan, Medan Kota, Medan Petisah, Medan Maimun, Medan Perjuangan, Medan Barat. The recommended tunnel position is in coordinates of 3042'02.00" LU and 98040'55.55" BT. The recommended alternative flood control is alternative two with the tunnel diameter of 5 meters.

Keywords: Deli River, Flood, HEC-RAS, Tunnel

1. Pendahuluan

Data BNPB sampai dengan 2015 menunjukkan bahwa banjir merupakan bencana alam yang banyak terjadi di Indonesia (BNPB, 2015). Banjir yang terjadi di sungai terjadi ketika alirannya melebihi kapasitas saluran air,

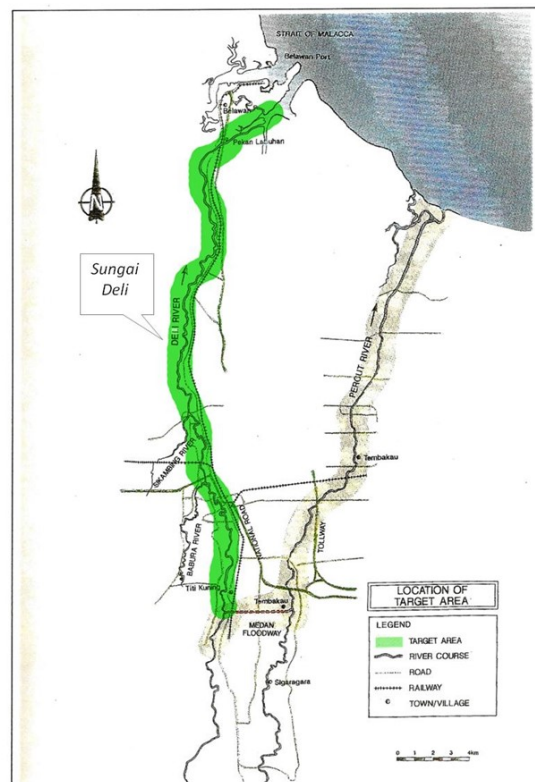
terutama di kelokan sungai dan mengakibatkan kerusakan rumah dan bangunan lain yang dibangun di dataran banjir. Berdasarkan permasalahan banjir yang terdapat di Indonesia sebagian besar terjadi akibat meluapnya sungai-sungai besar yang berada dan melalui daerah perkotaan (Gencer et. al, 2013). Misalnya banjir seperti yang terjadi di kota-kota

besar di Indonesia (Hapsari dan Zenurianto, 2016). Berdasarkan Siregar et. al (2013) bahwa salah satu penyebab terjadinya banjir di daerah rawan banjir Dayeuh Kolot disebabkan oleh meluapnya Sungai Citarum yang juga dipengaruhi oleh beberapa anak sungainya. Menurut Padawangi dan Douglass (2015) bahwa salah satu penyebab banjir Kota Jakarta adalah Sungai Ciliwung dimana sangat beresiko untuk penduduk yang berada di bantaran banjir tersebut. Menurut Anggorowati et. al (2014) menyatakan bahwa salah satu penyebab banjir di Kota Semarang adalah meluapnya Sungai Banjir Kanal Timur (BKT). Selain itu di Jawa Timur banjir menurut Musabbichin et. al (2015) bahwa salah satu penyebab terjadinya banjir akibat dua aliran sungai yaitu Sungai Bengawan Solo dan Sungai Brantas.

Begitu juga halnya terjadi di Kota Medan yang merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Utara dimana Sungai Deli yang melintasi Kota Medan memiliki potensi besar terhadap kejadian banjir yang ada di Kota Medan. Menurut Tarigan et. al (2018) bahwa salah satu penyebab Kota Medan banjir akibat dari meluapnya Sungai Babura, dimana sungai ini bertemu dengan Sungai Deli di pusat Kota Medan tepat dibelakang Kantor Wali Kota Medan. Sungai Deli merupakan salah satu sungai terbesar yang melintasi Kota Medan, sehingga tingkat kerawanan terhadap banjir diperkotaan juga besar. Debit air Sungai Deli yang terus bertambah naik ketika intensitas hujan tinggi menyebabkan Sungai Deli meluap. Banjir Sungai Deli sering terjadi, baik disebabkan oleh kapasitas yang lebih kecil dari debit yang ada, kurangnya pemeliharaan dan drainase serta sistem pembuangan yang tidak sesuai dengan lingkungan, sehingga mengakibatkan langganan banjir setiap tahun (Harahap et. al, 2018). Berdasarkan Tarigan et. al (2018) telah melakukan riset bahwa banjir di Kota Medan terjadi karena intensitas curah hujan yang tinggi dan besarnya runoof yang terjadi pada musim penghujan yang melebihi kapasitas Sungai Deli. Berdasarkan hal tersebut Kota Medan membutuhkan alternatif penanganan banjir yang disebabkan oleh meluapnya Sungai Deli yang dikonsepsi sedemikian rupa agar ketika Sungai Deli Meluap air luapan sungai tidak melewati bantaran sungai. Keterbatasan lahan untuk sistem pengendalian banjir dipermukaan lahan misalnya pembuatan embung atau kolam retensi yang memakan biaya dan lahan yang cukup besar sehingga tidak memungkinkan sistem tersebut menjadi alternatif pengendalian banjir (Indrawan dan Siregar, 2018). Oleh karena itu dalam mengantisipasi hal-hal tersebut maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk jenis *hydraulic structure* yang belum pernah ada di Kota Medan yaitu penerapan *tunnel* di bawah permukaan tanah di Kota Medan untuk mereduksi debit banjir Sungai Deli yang besar untuk diteruskan langsung ke laut atau kembali ke bagian Sungai Deli.

Konsep terowongan air (*tunnel*) itu sendiri dapat digunakan dalam beberapa tujuan atau fungsi dalam mengatasi banjir, salah satunya menurut Wu et. al (2016) menyatakan bahwa suatu *tunnel* direncanakan dan di-*design* untuk menyediakan penyimpanan sementara

untuk aliran banjir dan *sewage system* yang tidak mampu dialirkan secara bersamaan dalam suatu badan air guna mengurangi debit puncak banjir di hilir. Selain itu menurut Nugroho et. al (2018) pada studi kasus banjir timur Jakarta bahwa *tunnel* tersebut memiliki kapasitas yang besar yang dapat disediakan untuk pembuangan parsial aliran yang dialihkan dari Sungai Ciliwung pada setiap kondisi yang memungkinkan. Soon et. al (2017) telah melakukan studi terkait pengaruh SMART *Tunnel* dalam pengontrolan banjir yang memiliki *water tunnel* sepanjang 9.7 kilometer. Studi ini menyimpulkan bahwa *tunnel* yang didesain sepanjang itu mempunyai pengaruh yang besar dalam mengurangi banjir di Kuala Lumpur, Malaysia. Sementara itu Zhou dan Zhao (2016) melakukan studi tentang kajian dan perencanaan penggunaan lahan bawah tanah di Singapura terkait pembangunan yang mengharuskan kondisi bawah tanah karena keterbatasan lahan. Hu et. al (2015) juga melakukan studi tentang tantangan dan strategi perencanaan konstruksi untuk *tunnel* terbenam sepanjang 6 kilometer di Hongkong.

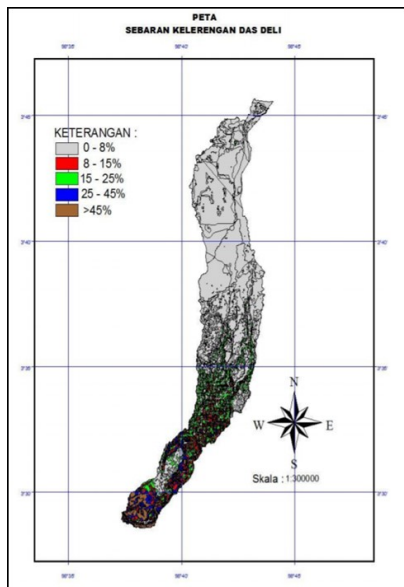


Gambar 1. Peta lokasi studi, sungai Deli
Sumber: Balai Wilayah Sungai Sumatera II (BWSS II)

Keterbatasan lahan permukaan untuk membuat bangunan pengendali banjir di Kota Medan merupakan salah satu faktor yang tidak bisa dihindarkan lagi, ditambah lagi dengan penyebab terjadi banjir akibat meluapnya Sungai Deli yang melewati daerah perkotaan.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan di atas maka penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain:

1. Menganalisis daerah genangan banjir di bantaran Sungai Deli khusus daerah yang melintasi Kota Medan.
2. Menganalisis kapasitas terowongan air (*tunnel*).
3. Melakukan simulasi kejadian banjir Sungai Deli sebelum dan sesudah dibuat *tunnel*.
4. Menganalisis tingkat efektivitas *tunnel* dalam mengatasi banjir Sungai Deli.

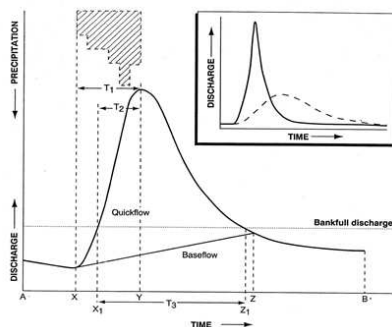


Gambar 2. Peta sebaran kekerengan DAS Deli
Sumber: Izma dan Tarigan, 2014

2. Pemodelan Banjir

2.1 Hidrograf aliran banjir

Respons suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap hujan adalah limpasan permukaan (*runoff*). Hujan merupakan faktor utama yang menyebabkan banjir. Karakteristik hujan yang menyebabkan banjir adalah intensitas hujan yang tinggi dan durasi hujan yang lama. Ketika suatu DAS merespons hujan menjadi limpasan langsung maka karakteristik debit tersebut sangat bergantung pada konstanta dan variabel DAS. Salah satu konstanta yang mempengaruhinya adalah koefisien guna lahan (Fatichi et. al, 2016).



Gambar 3. Konsep hidrograf banjir
(Sumber: Hoyt and Langbein, Princetown University Press)

Gambar tersebut menjelaskan bahwa jika hidrograf aliran yang terjadi pada suatu DAS melebihi dari *bankfull discharge*, maka volume selisih antaranya merupakan volume limpasan yang terjadi. Volume limpasan tersebut merupakan kontribusi banjir pada suatu DAS.

2.2 Pemodelan hidrolika dengan HEC-RAS

Suatu pemodelan hidraulik akan menganalisis hitungan hidraulik yang pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang merupakan hasil dari debit yang di input sebagai syarat batas. *Software* HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan hidraulik aliran di sungai. HEC-RAS merupakan singkatan dari *Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*, yang dibuat oleh 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*). Pada pemodelan HEC-RAS terdapat beberapa komponen dalam pemodelan 1 dimensi dan 2 dimensi yaitu menentukan profil muka air pada aliran permanen (*steady flow*), simulasi pada aliran *unsteady flow* (US Army, 2010).

2.3 Aliran tidak permanen (*unsteady flow*)

Respons suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap hujan adalah limpasan permukaan (*runoff*). Hujan merupakan faktor utama yang menyebabkan banjir. Karakteristik hujan yang menyebabkan banjir adalah intensitas hujan yang tinggi dan durasi hujan yang lama. Ketika suatu DAS merespons hujan menjadi limpasan langsung maka karakteristik debit tersebut sangat bergantung pada konstanta dan variabel DAS. Salah satu konstanta yang mempengaruhinya adalah koefisien guna lahan. Pada aliran tak permanen merupakan proses fisik pada aliran di suatu saluran dengan mengadopsi konsep kekekalan massa dan kekekalan momentum. Proses fisik ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis, yang dikenal sebagai Persamaan St. Venant. Persamaan tersebut terdiri dari persamaan kontinuitas (prinsip konservasi massa) dan persamaan momentum (prinsip konservasi momentum) (US Army, 2010).

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Persamaan Momentum

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

dengan keterangan:

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^2}$$

A = luas total tampang aliran

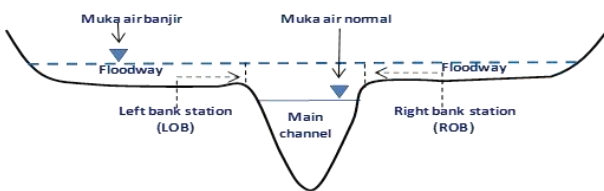
Q = debit aliran

q_l = debit lateral per satuan panjang

V = kecepatan aliran

- g = percepatan gravitasi
- x = jarak, diukur searah aliran
- z = elevasi muka air
- t = waktu
- S_f = kemiringan garis energi (*friction slope*), dihitung dengan persamaan manning
- n = koefisien kekasaran manning
- R = radius hidraulik

Pada pemodelan 1 Dimensi kawasan genangan di luar alur utama dapat dimodelkan sebagai kawasan tampungan yang airnya dapat saling berpindah ke dan dari alur utama. Skema aliran pada *cross section* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. Skema aliran pada cross section sungai
 Sumber: HEC-RAS Manual, US Army

Gambar di atas menjelaskan tentang skema aliran yang terjadi di palung sungai yang menggambarkan kondisi muka air normal dan muka air saat banjir yang memenuhi daerah bantaran banjir kanan dan kiri sungai. Gambar tersebut merupakan ilustrasi dari pemodelan hidraulika yang dilakukan di HEC-RAS. Skema aliran tersebut merupakan pemodelan 1D dimana kondisi aliran hanya memiliki satu arah aliran, sehingga pada saat pemodelan di HEC-RAS aliran hanya memenuhi wilayah cross section sungai yang digambarkan di pemodelan.

Menurut Kusuma et. al, (2010) tentang studi pengembangan peta indeks resiko banjir pada Kelurahan Bukit Duri Jakarta. studi tersebut menekankan pada estimasi bahaya banjir, kerentanan, kapasitas, dan risiko di daerah Kelurahan Bukit Duri di Kecamatan Tebet, Jakarta. Peta bahaya banjir dikembangkan dengan menggunakan model matematis 1-D aliran *unsteady*. Apabila beban banjir melebihi kapasitas akan terjadi *overflow* (pelimpasan). Volume *overflow* dalam periodenya melimpas dan membebani daerah retensi pada topografi sehingga menyebabkan variasi genangan banjir di daerah tersebut.

3. Metodologi

Studi ini terdiri dari pemodelan hidrologi dan pemodelan hidraulika, dimana pemodelan hidrologi untuk mendapatkan model hidrograf banjir aliran Sungai Deli. Pemodelan hidraulika untuk menganalisis kapasitas sungai dan kanal yang menjadi alternatif banjir (Indrawati et. al, 2018). Data-data yang diperlukan pada penelitian ini antara lain: Peta Sungai Deli, peta wilayah tersebut terdiri dari peta gambar maupun digital.

Peta guna lahan (*land use*), Peta topografi DAS Deli, data curah hujan dan data debit pengukuran beberapa stasiun pengukuran pada DAS Deli, data *long section* dan *cross section* Sungai Deli, data survey lapangan ke titik-titik banjir di Kota Medan, sebagai tambahan, dilakukan *site visit* ke lokasi penelitian dan melakukan *interview* dengan penduduk di sekitar bantaran Sungai Deli. Wawancara tersebut bertujuan untuk mengetahui lokasi penelitian dan mengetahui kejadian banjir yang pernah terjadi kepada korban banjir. Hal tersebut akan membantu penulis dalam menganalisis lokasi yang menjadi titik lokasi kejadian banjir akibat luapan (*overtopping*) aliran Sungai Deli. Perkembangan metode dalam menganalisis pemodelan hidraulika dengan HEC-RAS maka pada studi ini pemodelan merupakan pemodelan 2D dalam menganalisis daerah genangan banjir yang terjadi (Dimitriadis et. al, 2016).

3.1 Metode penerapan terowongan air (*tunnel*)

Desain penerapan terowongan tergantung kepada lokasi daerah genangan banjir yang akan direduksi, kemudian dicari alternatif jalur terowongan yang optimal berdasarkan tataguna lahan di sepanjang DAS sungai Deli. Dimensi terowongan air dianalisis berdasarkan debit banjir rencana yang akan dialirkan ke dalam terowongan sehingga dapat mencegah terjadinya luapan sungai ke pemukiman penduduk. Desain terowongan kemudian diarahkan menuju daerah sungai yang sudah mempunyai kapasitas tampungan debit banjir yang cukup atau dapat dialirkan ke dalam kolam penampungan bahkan dapat juga dialirkan langsung ke laut (Dammyr et. al, 2017). Hal ini tergantung dari hasil analisis topografi dan tata guna lahan di sepanjang DAS Sungai Deli. Metode pemodelan menggunakan HEC-RAS 5.0.3. dengan pemodelan *tunnel* seperti pemodelan *culvert* di *software* tersebut (Nugroho et. al, 2018).

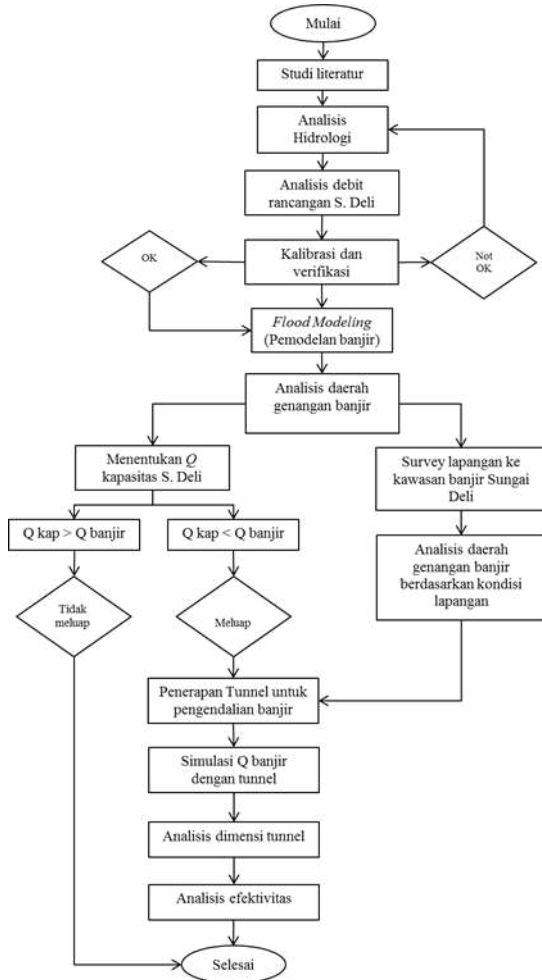
Solusi yang diberikan untuk menangani banjir akibat luapan Sungai Deli yang difokuskan pada penanganan debit banjir kala ulang 25 tahun dalam penelitian ini ada dua hal yaitu:

1. Aliran Sungai Deli dialihkan sebelum memasuki kawasan daerah rawan banjir, dan aliran tersebut dikembalikan ke Sungai Deli jika sudah melalui daerah tersebut.
2. Aliran Sungai Deli dialihkan sebelum memasuki kawasan daerah rawan banjir, dan aliran tersebut diteruskan ke hilir atau menuju Belawan.

Berdasarkan laporan pekerjaan normalisasi Sungai Deli oleh Balai Wilayah Sungai Sumatera II menyatakan bahwa kondisi terkini Sungai Deli yang telah memiliki *Medan Flood Control* (MFC) dimana mampu mengatasi banjir kala ulang 15 tahun. Saat ini Sungai Deli masih bermasalah dengan banjir akibat daya tampung Sungai Deli yang tidak memadai untuk kondisi banjir kala ulang 25 tahun, sehingga BWSS II dalam menanggulangi banjir Sungai Deli fokus pada banjir kala ulang tersebut (BWSS II, 2016).

3.2 Tahapan pemodelan banjir

Seluruh tahapan studi ini digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*) pelaksanaan kegiatan seperti gambar berikut yang meliputi studi literatur sampai dengan analisis dimensi *tunnel* dan tingkat keefektifitasnya.



Gambar 5. Diagram alir (*flowchart*) pelaksanaan kegiatan penelitian

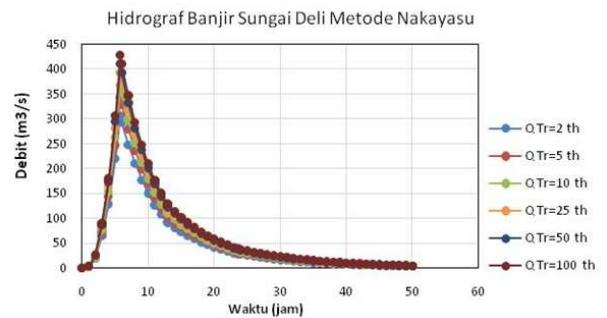
Tahapan awal pekerjaan penelitian ini dimulai dengan studi literatur terkait permasalahan banjir dan metode desain *tunnel* banjir. Kemudian dilakukan analisis hidrologi untuk mendapatkan debit banjir kala ulang 25 tahun dan dilakukan kalibrasi dan verifikasi. Kalibrasi adalah proses pengecekan dan pengaturan akurasi dari debit banjir hasil analisis dengan cara membandingkannya dengan data pengukuran debit banjir berdasarkan data debit yang diperoleh dari BWSS II untuk waktu tertentu di titik outlet posisi stasiun debit yang sama. Kalibrasi dilakukan sebanyak satu kali untuk nilai debit kala ulang 25 tahun dikarenakan keterbatasan jumlah data hasil pengukuran. Kemudian dilakukan verifikasi untuk debit kala ulang yang sama dengan kondisi waktu yang berbeda. Setelah debit berhasil di kalibrasi dan verifikasi, maka selanjutnya dilanjutkan analisis pemodelan banjir dan mendapatkan daerah genangan banjir untuk pemodelan hidraulika 2-D. Analisis selanjutnya adalah

penerapan *tunnel* untuk dua alternatif seperti yang disebutkan sebelumnya. Simulasi kedua alternatif tersebut dilakukan untuk mendapatkan alternatif yang paling efektif menanggulangi banjir kala ulang 25 tahun Sungai Deli.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil analisis hidrologi

Analisis hidrologi merupakan analisis untuk mendapatkan debit banjir pada Sungai Deli dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu.



Gambar 6. Hidrograf banjir Sungai Deli Metode Nakayasu kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun

Gambar di atas menghasilkan debit puncak banjir Daerah Aliran Sungai Deli Metode Nakayasu untuk periode ulang 2 tahun sebesar 308 m³/s, periode ulang 5 tahun sebesar 345 m³/s, periode ulang 10 tahun sebesar 367 m³/s, periode ulang 25 tahun sebesar 393 m³/s, periode ulang 50 tahun sebesar 411 m³/s dan periode ulang 100 tahun sebesar 428 m³/s.

4.2 Hasil analisis kalibrasi dan verifikasi

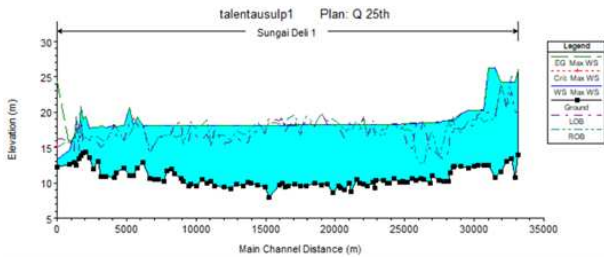
Pemodelan hidrologi dengan Metode Nakayasu menghasilkan model hidrograf banjir, guna mengecek parameter-parameter dari karakteristik DAS dan aliran maka dilakukan kalibrasi dan verifikasi hidrograf banjir terhadap data observasi yang diperoleh dari Balai Besar Wialyah Sumatera II. Hasil analisis kalibrasi dan verifikasi ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil kalibrasi dan verifikasi hidrograf nakayasu

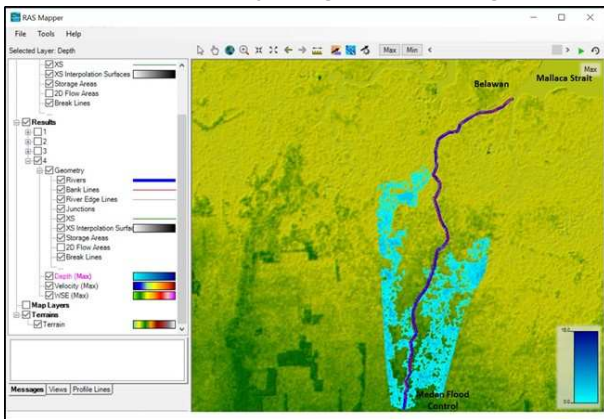
Metode	Tanggal	R (mm)	Q model (m ³ /s)	Q observasi (m ³ /s)
Kalibrasi	Maret, 2011	25.10	106.72	106.48
Verifikasi	Februari, 2014	22.00	94.22	93.84

4.3 Hasil pemodelan banjir

Pemodelan hidrolika yang merupakan hasil dari analisis hidrolika dengan HEC-RAS 5.0.3 menghasilkan profil muka air Sungai Deli yang dimodelkan untuk debit banjir kala ulang 25 tahun.



Gambar 7. Simulasi banjir Sungai Deli kala ulang 25 tahun

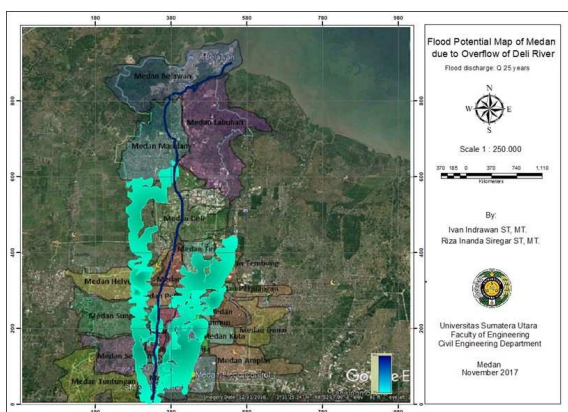


Gambar 8. Genangan banjir luapan Sungai Deli untuk Q kala ulang 25 tahun

Gambar di atas merupakan profil muka air dan pemodelan daerah genangan banjir dengan *Ras Mapper* yang diakibatkan oleh debit banjir Sungai Deli kala ulang 25 tahun dengan luas genangan 3.69 Ha.

4.4 Analisis daerah potensi banjir

Analisis daerah potensi banjir berdasarkan hasil simulasi dari tahap analisis hidrologi dan hidrolika pada pemodelan 2-Dimensi dengan menggunakan data topografi dari google earth dan data DEM (*Digital Elevation Model*) memperlihatkan potensi banjir untuk beberapa kawasan di Kota Medan. Pada studi ini difokuskan untuk menganalisis potensi banjir untuk debit kala ulang 25 tahun. Kemudian alternatif yang diberikan dalam studi ini juga untuk penanganan banjir akibat luapan Sungai Deli untuk Q 25 tahun seperti gambar berikut.



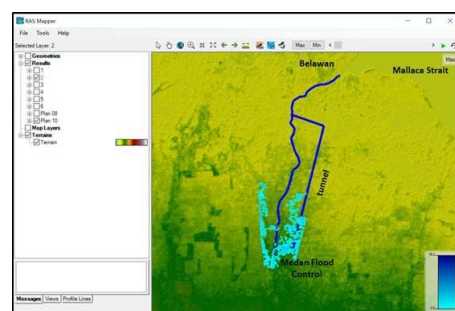
Gambar 9. Kawasan Kota Medan yang berpotensi banjir akibat debit banjir Q kala ulang 25 tahun

Berdasarkan peta potensi banjir Kota Medan akibat luapan Sungai Deli untuk debit banjir Q kala ulang 25 tahun maka ada beberapa kecamatan yang berpotensi terkena dampak banjir Q 25 tahun dengan luas area genangan berbeda-beda. Kecamatan tersebut antara lain: Kecamatan Medan Johor, Kecamatan Medan Selayang, Kecamatan Mmedan Kota, Kecamatan Medan Petisah, Kecamatan Medan Maimun, Kecamatan Medan Perjuangan, Kecamatan Medan Barat

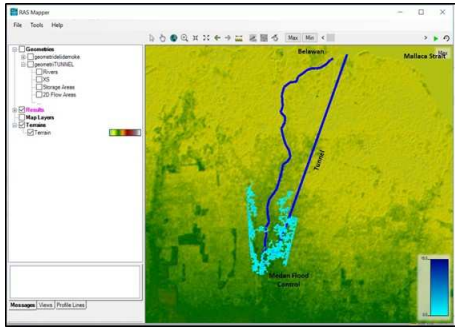
4.5 Analisis penerapan *tunnel* alternatif I dan II

Hasil analisis dari peta potensi banjir tersebut dapat terlihat bahwa bagian sebelah timur Sungai Deli terdapat *Medan Flood Control (MFC)* yang fungsinya untuk mengalirkan sebagian debit banjir Sungai Deli sebesar $70 \text{ m}^3/\text{s}$ yang dialihkan menuju Sungai Percut. Bagian sebelah barat Sungai Deli terdapat Bandar Udara Polonia. Keberadaan bandara tersebut tidak memungkinkan dilakukan *crossing tunnel* dengan bandara, sehingga posisi terowongan air (*tunnel*) yang akan dibangun tidak direkomendasikan pada bagian ini. Posisi yang direkomendasikan untuk penerapan terowongan air (*tunnel*) akibat luapan Sungai Deli dengan Q banjir kala ulang 25 tahun adalah di sisi timur Sungai Deli setelah bagian MFC beberapa ratus meter ke hilir. Penentuan posisi tunnel berdasarkan hasil analisis daerah yang berpotensi banjir dan berdasarkan survey lokasi ke lapangan untuk menentukan posisi atau koordinat intake tunnel. Posisi tunnel yang direkomendasikan pada penelitian ini adalah pada titik koordinat $3042^{\circ}02.00'' \text{ LU}$ dan $98040^{\circ}55.55'' \text{ BT}$ berada di daerah Kecamatan Medan Johor, tepatnya di Titi Kuning, Medan Johor. Pada penentuan dimensi *tunnel* yang digunakan menggunakan rumus manning dimana terowongan air (*tunnel*) dianggap berbentuk saluran lingkaran untuk desain debit pengurangan dari debit banjir kala ulang 25 tahun dikurang debit kapasitas Sungai Deli (termasuk yang mengalir ke MFC $70 \text{ m}^3/\text{s}$) diperoleh diameter saluran 5 meter.

Diketahui pada analisis awal bahwa Alternatif I yaitu aliran Sungai Deli sebelum memasuki kawasan banjir akan dialihkan sebagian melalui tunnel dan diteruskan kemudian kembali lagi ke Sungai Deli pada titik yang tidak lagi berpotensi banjir. Berdasarkan *layout* pemodelan penerapan terowongan air pada analisis pengendali banjir Alternatif I dan II serta berdasarkan hasil analisis pemodelan hidrologi diketahui bahwa Sungai Deli meluap dan banjir akibat debit banjir kala ulang 25 tahun.

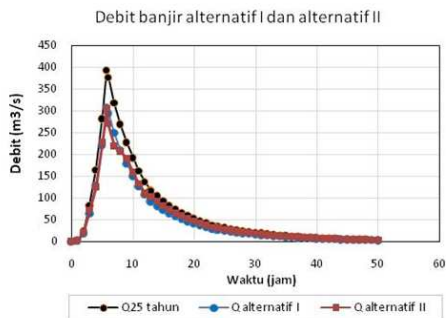


Gambar 10. Daerah genangan banjir yang terjadi setelah diterapkan *tunnel* pada Alternatif I



Gambar 11. Daerah genangan banjir yang terjadi pada setelah dibuat *tunnel* pada Alternatif II

Diketahui pada analisis sebelumnya bahwa terdapat 2 (dua) metode untuk alternatif pengendalian banjir yaitu Alternatif I dan Alternatif II. Berdasarkan hasil analisis dari kedua alternatif tersebut, maka berikut dibandingkan debit puncak yang dapat dikurangi untuk kejadian banjir Sungai Deli kala ulang 25 tahun.



Gambar 12. Pengurangan debit banjir yang terjadi pada setelah dibuat *tunnel* pada Alternatif I dan II

Diketahui bahwa Q banjir 25 tahun adalah $393 \text{ m}^3/\text{s}$. Berdasarkan hasil *output* debit pada analisis hidraulika di HEC-RAS, diperoleh hasil pengurangan debit puncak banjir untuk alternatif I sekitar $156 \text{ m}^3/\text{s}$ (sudah dikurangi debit yang masuk ke *Medan Flood Control 70 m}^3/\text{s}) atau 39.7%, sedangkan pengurangan debit puncak banjir untuk alternatif II sekitar $163 \text{ m}^3/\text{s}$ atau 41.5%. Jika dilihat dari hasil analisis antara alternatif I dan alternatif II memiliki persentase pengurangan debit banjir setelah adanya *tunnel* tidak terlalu berbeda jauh sebesar 1.8%. Kedua metode tersebut dapat diaplikasikan dalam penanggulangan banjir Kota Medan dan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kelebihan penerapan alternatif I memiliki pengurangan banjir yang besar, dan biaya membuat *tunnel* lebih kecil dibandingkan alternatif II, tetapi kelemahan alternatif ini dikhawatirkan berpotensi menimbulkan banjir di hilir Sungai Deli akibat air buangan di daerah tersebut dimana sebelumnya tidak terjadi banjir. Kelebihan alternatif II memiliki lebih besar persentase pengurangan banjir dibandingkan alternatif I, tetapi biaya konstruksi lebih mahal dibandingkan alternatif I karena *tunnel* dibuat sampai hilir (Belawan). Pemilihan alternatif tersebut berdasarkan kebijakan jangka panjang dalam penanggulangan banjir Sungai Deli di Kota Medan.*

5. Kesimpulan

1. Luas genangan banjir akibat luapan Sungai Deli untuk debit banjir kala ulang 25 tahun sebesar 3.69 Ha dimana berdampak pada 7 Kecamatan, yaitu Kecamatan Medan Johor, Kecamatan Medan Selayang, Kecamatan Medan Kota, Kecamatan Medan Petisah, Kecamatan Medan Maimun, Kecamatan Medan Perjuangan, Kecamatan Medan Barat. Berdasarkan analisis maka posisi inlet *tunnel* yang direkomendasikan berada di titik koordinat $3^{\circ}42'02.00''$ LU dan $98^{\circ}40'55.55''$ BT yang ditentukan berdasarkan survey lokasi penelitian dengan dimensi saluran *tunnel* diameter 5 meter.
2. Alternatif sistem pengendalian banjir yang memiliki tingkat efektifitas lebih tinggi dalam mengatasi banjir adalah alternatif II yaitu aliran Sungai Deli dialihkan menuju muara sungai yaitu Belawan, akan tetapi metode yang terbaik dipilih berdasarkan kebijakan pihak berwenang dalam penanggulangan banjir Sungai Deli. Terowongan air (*tunnel*) dapat menjadi alternatif yang baik ditinjau dari besarnya pengurangan debit banjir setelah adanya *tunnel*.

Daftar Pustaka

- Anggorowati, M., Nugraha, A., L., Wijaya, A., P., 2014, *Analisis area luapan banjir akibat kenaikan debit air berbasis sistem informasi geografis (Studi kasus : Das Banjir Kanal Timur Kota Semarang)*, Jurnal Geodesi Undip.
- Badan Penanggulangan Bencana Nasional (BNPB), 2015, *Data Bencana*, <http://dibi.bnpb.go.id/data-bencana>.
- Balai Wilayah Sungai Sumatera II (BWSS II), 2016, Laporan pekerjaan normalisasi Sungai Deli.
- Dammyr, O., Nilsen, B., Gollegger, J., 2017, *Feasibility of tunnel boring through weakness zones in deep Norwegian subsea tunnels*, Tunnelling and Underground Space Technology, Elsevier, Vol. 69, 133-146.
- Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., Koutsoyiannis, D., dan Efstratiadis, A., 2016, *Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping*, Elsevier, 534 478-492.
- Faticchi, S., Vivoni, E., R., Ogden, F., L., et. al, 2016, *An overview of current applications, challenges, and future trends in distributed process-based models in hydrology*, Journal of Hydrology, Elsevier, 537, 45-60.
- Gencer, E., A., 2013, *The interplay between urban development, vulnerability, and risk management*.

A case study of the Istanbul metropolitan area,
New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Affairs: Volume 88, No. 3, DOI:
10.5509/2015883517.

- Harahap, R., Jeumpa, K., Hadibroto, B., 2018, *Flood Discharge Analysis with Nakayasu Method Using Combination of HEC-RAS Method on Deli River in Medan City*, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 970, DOI:10.1088/1742-6596/970/1/012011.
- Hoyt, W., G., Langbein, W., M., 1955, *Those Angry Waters; FLOODS*, Princeton: Princeton University Press.
- Hapsari, R., I., Zenurianto, M., 2016, *View of Flood Disaster Management in Indonesia and the Key Solutions*, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-5, Issue-3, 140-151.
- Hu, Z., Xie, Y., Wang, J., 2015, *Challenges and strategies involved in designing and constructing a 6 km immersed tunnel: A case study of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge*, Tunnelling and Underground Space Technology, Elsevier, Vol. 50, 171-177.
- Izma, F., Tarigan, A., P., M., 2014, *Analisis Potensi Geografis (SIG)*, Universitas Sumatera Utara. *Erosi Pada DAS Deli Menggunakan Sistem Informasi*
- Indrawan, I., Siregar, R., I., 2018, *Analysis of flood vulnerability in urban area; a case study in deli watershed*, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. SERIES, 978, DOI:10.1088/1742-6596/978/1/012036.
- Indrawati, D., Hadihardaja, I., K., Adityawan, M., B., Pahrizal, S., F., Taufik, F., 2018, *Diversion Canal to Decrease Flooding (Case Study: Kebon JatiKalibata Segment, Ciliwung River Basin)*, MATEC Web of Conferences 147, DOI: 10.1051/mateconf/201814703006.
- Kusuma, M.Syahril Badri, et.al, 2010, *Studi Pengembangan Peta Indeks Resiko Banjir pada Kelurahan Bukit Duri Jakarta*, Jurnal Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Vol-17.
- Musabbichin, L., Mulaab, Yunitarini, R., 2015, *Sistem Informasi Geografis (sig) penentuan jalur terpendek untuk menghindari daerah rawan banjir (studi kasus Propinsi Jawa Timur)*, Jurnal Simantec, ISSN 2088-2130, Vol. 4, No. 3.
- Nugroho, J., Soekarno, I., Harlan, D., 2018, *Model of Ciliwung River Flood Diversion Tunnel Using HECRAS Software*, MATEC Web of Conferences, 147, DOI:10.1051/mateconf/201814703001.
- Padawangi, R., Douglass, M., 2015, *Water, Water Everywhere: Toward Participatory Solutions to Chronic Urban Flooding in Jakarta*, Pacific Affairs: Volume 88, No. 3, DOI: 10.5509/2015883517.
- Siregar, R. I., Kusuma, M.S.B., Farid, M., 2013, *Assesment of the Contribution of the Flood Hydrograph of Cirasea, Cidurian and Ciwidey River in Affecting Flood Index in Bandung Basin*, The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment – Bandung 19-20 November 2013 ISBN 978-979-98278-4-5, 234-245.
- Soon, N., K., Ali, M., B., Ahmad, A., R., 2017, *Effects of SMART Tunnel Maintenance Works on Flood Control and Traffic Flow*, Advanced Science Letters, Vol. 23, No. 1, 322-325.
- Tarigan, A. P. M., Hanie, M. Z., Khair, H., Iskandar, R., 2018, *Flood prediction, its risk and mitigation for the Babura River with GIS*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, doi:10.1088/1755-1315/126/1/012119.
- Tarigan, A. P., Zevri, A., Iskandar, R., Indrawan, I., 2017, *A Study on the Estimation of Flood Damage in Medan City*, MATEC Web of Conferences, 138, DOI: 10.1051/mateconf/201713806010.
- US ARMY Corps of Engineers, 2010, *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual*. US Army Corps of Engineers, Washington.
- Wu, H., Huang, G., Meng, Q., Zhang, M., Li, L., 2016, *Deep Tunnel for Regulating Combined Sewer Overflow Pollution and Flood Disaster: A Case Study in Guangzhou City, China*, Water, DOI:10.3390/w8080329.
- Zhou, Y., Zhao, J., 2016, *Assessment and planning of underground space use in Singapore*, Tunneling and Underground Space Technology, Elsevier, Vol. 55, 249-256.