

KAJIAN ANALITIS DAN APLIKASI HEC-RAS DALAM PEMODELAN GERUSAN PADA PILAR JEMBATAN KURANJI KOTA PADANG

ANALYTICAL STUDY AND APPLICATION OF HEC-RAS IN SCROLL MODELING ON THE PILLARS OF THE KURANJI BRIDGE IN PADANG CITY

Elvi Roza Syofyan^{1*}, Suhendrik Hanwar², Revalin Herdianto³, Dalrino⁴

Politeknik Negeri Padang, Teknik Sipil, Kampus Limau Manis
Padang 25163, Telp. 0751-72590 Fax. 0751-72576, Indonesia

*e-mail: elviroza29@gmail.com, suhendrik@pnp.ac.id, revalin@pnp.ac.id, dalrino350@gmail.com

ABSTRACT

Bridges serve as infrastructure for vehicles to traverse. To maintain their function and performance in serving traffic flow, ongoing maintenance efforts are required. Therefore, routine bridge condition inspections must be an integral part of the management system to ensure their stability. The planned flood discharge in Batang Kuranji for return periods of 2 years, 5 years, 10 years, 25 years, 50 years, respectively, is 250.954 m³/s, 374.702 m³/s, 452.524 m³/s, 543,265 m³ /s, 623,773 m³ /s. The results of the analysis show that the bridge pillars and river flow cause scouring. The depth of scour that occurs on pillars using the analytical Lacey method and the HEC-RAS application for flood discharge for return periods of 2 years, 5 years, 10 years, 25 years, 50 years respectively is 1,756 m, 2,007 m, 2,138 m, 2,272 m, 2,379 m and 2,330 m, 2,460 m, 2,540 m, 2,600 m, 2,730 m. From the results of analytical calculations on flood discharge at a 50 year return period, the depth of scour is 2,379 m. Meanwhile, the maximum depth of scour from analysis using the HEC-RAS application is 2,730 m. This shows that the analytical calculation results are close to the HEC-RAS results.

Keywords: flood discharge, scouring, HEC-RAS

I. PENDAHULUAN

Jembatan Kuranji merupakan salah satu infrastruktur penting bangunan sipil yang dibangun untuk menghubungkan dua jalan yang terputus akibat adanya hambatan aliran sungai. Jembatan berguna sebagai jalan yang akan dilalui kendaraan-kendaraan di atasnya. Dalam mempertahankan fungsi dan kemampuan jembatan dalam melayani arus lalu lintas. Oleh sebab itu pemeriksaan yang terus menerus terhadap kondisi jembatan harus menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam sistem menjaga stabilitas jembatan [1] [2]. Tetapi pada saat ini jembatan banyak yang mengalami kerusakan di beberapa bagiannya karena beberapa faktor seperti faktor sungai yang memiliki sifat dinamis.,Oleh karena itu,pada saat terjadinya debit banjir yang besar proses gerusan terjadi di pilar jembatan kuranji sehingga menyebabkan berkurangnya stabilitas dan kekuatan jembatan yang sewaktu-waktu dapat mengancam runtuhnya jembatan sehingga arus lalu lintas menjadi terganggu. Sehingga hal ini perlu dipelajari untuk mengetahui cara-cara pengendaliannya agar bangunan yang dibuat dapat bertahan dari pengaruh kerusakan aliran sungai yang menyebabkan gerusan di bagian jembatan yaitu di pilar dan cara mengatasinya agar

tidak terjadi lagi gerusan [3] [4]. Adanya pilar jembatan pada ruas sungai menyebabkan perubahan pola aliran yang menimbulkan gerusan lokal di sekitar pilar sehingga mengakibatkan penurunan elevasi dasar sungai. Untuk pilar yang ditinjau yaitu pilar satu kolom, dan pilar yang ditinjau sebanyak 1 buah [5].

Saat terjadinya debit banjir yang sangat besar dapat membahayakan konstruksi jembatan. Gerusan yang terjadi biasanya berlangsung dalam jangka waktu yang lama, karena proses ini terjadi secara bertahap sedikit demi sedikit. Prosesnya akan terlihat lebih nyata pada saat terjadi banjir besar, hal ini didasari karena saat terjadi banjir, fluktuasi air tidak lagi dapat diprediksi sehingga terjadi ketidakstabilan pada konstruksi jembatan kuranji. Gerusan yang terjadi dapat dipengaruhi oleh lebar efektif sungai pada penampang sungai, hal ini bisa mengakibatkan aliran air menjadi terfokus menuju ke satu titik. Untuk mengatasi permasalahan pada jembatan kuranji tidak lepas dari permasalahan debit banjir yang meningkat sehingga gerusan yang terjadi semakin besar .

Berapa penelitian terdahulu, hasil penelitian ini kedalaman gerusan pilar pada debit banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun berturut-turut

adalah 3.03 m, 3.28 m, 3.37 m, 3.43 m, 3.46 m, 3.52 m, dan 3.57 m, dan kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar hasil perhitungan analitik adalah berturut-turut 5.01 m, 5.11 m, 5.12 m, 5.20 m, 5.21 m, 5.24 m, dan 5.27 m [6] [7]. Dengan beberapa variasi debit aliran, dapat terlihat bahwa pada debit 5.87 m³/s sampai 905.23 m³/s mulai mengalami kenaikan kedalaman gerusan pada pilar. Kemudian pada debit 905.23 m³/s sampai 1080.15 m³/s mengalami kestabilan kedalaman gerusan pilar, yaitu pada kedalaman 1.76 m [8] [9] [10]. Hasil analisa fisik dan analisa metode empiris yang memiliki kedalaman gerusan, metode Laursen dan Toch sebesar 1.77 m, metode Froehlich 1.471 m, dan metode Colorado State University (CSU) 2.73 m, ke tiga metode tersebut memiliki kesesuaian namun perhitungan kedalaman gerusan menurut metode Froehlich memiliki hasil yang lebih mendekati hasil analisa fisik [10] [11] [2].

Berdasarkan permasalahan diatas tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah menghitung besarnya nilai debit banjir rencana di daerah aliran sungai (DAS) Batang Kuranji dan menghitung kedalaman besarnya gerusan lokal pada pilar jembatan dengan menggunakan beberapa pendekatan dan aplikasi HEC-RAS

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Jembatan Kuranji di aliran sungai kuranji secara administrasi terletak di Jl.By Pass, Ps. Ambacang, Kec. Kuranji, Kota Padang, Sumatera Barat. Secara geografis terletak di 100°23'51,87" BT dan 0°55'18,92" Padang.

Tahap Penelitian

1. Mengetahui Catchment Area curah hujan di DAS Kuranji
2. Pengelolaan data curah hujan debit rencana 15 tahun, analisa debit menggunakan metode statistik dengan metode Poligon Thiessen
3. Perhitungan Debit Rencana
 - a. Metode HSS Nakayasu
 - b. Metode Weduwen
 - c. Metode Hasper
4. Persamaan Gerusan
 - a. Persamaan FHWA 2012 Evaluating Scour at Bridges
 - b. Persamaan Lacey
 - c. Persamaan Laursen dan Touch



Gambar 1. Peta Lokasi Jembatan Kuranji



Gambar 2. Pilar Jembatan Dari Depan



Gambar 3. Pilar Jembatan Dari Samping

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Curah Hujan

Analisis data curah hujan rata-rata kawasan bertujuan untuk menghitung debit rancangan banjir di daerah tersebut. Dalam menganalisis data curah hujan digunakan Metode *Polygon Thiessen*. Pada metode ini memerlukan beberapa stasiun curah hujan terdekat yang akan mempengaruhi daerah tangkapan (*Catchment Area*).

Pemodelan metode ini dan presentase luas yang mempengaruhi diperoleh dari digitasi aplikasi GIS. Terdapat 3 stasiun yang mempengaruhi curah hujan rencana yaitu Stasiun Batu Busuk, Stasiun Gunung Nago dan Stasiun Koto Tuo [13] [14]. dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hujan Rencana DAS Batang Kuranji

Periode Ulang (tahun)	Normal	Gumbel	Log Normal	Log Person Type III
2	131.21	120.908	121.421	121.421
5	174.04	180.529	173.816	173.816
10	196.47	218.023	209.747	209.747
25	218.40	261.742	252.027	252.027
50	235.73	300.530	291.411	291.411
100	250.00	335.411	328.426	328.426

Pengujian distribusi menggunakan Metode Chikudrat dan Smirnov Kolmogorov [14] didapati sebagai berikut, dapat dilihat pada Tabel 2, hujan rencana Tabel 3 dan rekapitulasi debit banjir Tabel 4.

Tabel 2. Hasil Uji Chikudrat dan Smirnov Kolmogorov

Distribusi Probabilitas	Chikudrat		Smirnov Kolmogorof		Ket.
	X hitung	X kritis	ΔP hitung	ΔP kritis	
	Normal	2.00	5.991	0.074	
Gumbel	2.00	5.991	0.080	0.338	Diterima
Log Normal	4.00	5.991	0.040	0.338	Diterima
Log Pearson Type III	4.00	5.991	0.148	0.338	Diterima

Tabel 3. Hujan Rencana DAS Batang Kuranji dengan Metode Gumbel

No	Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rencana (XT)
1	2	120.908
2	5	180.529
3	10	218.023
4	25	261.742
5	50	300.530
6	100	335.411

Tabel 4. Rekapituasi Debit Banjir dengan 3 Metode

Periode Ulang (Tahun)	Metode Hasper (m3/dtk)	Metode Weduwen (m3/dtk)	Metode HSS Nakayasu (m3/dtk)
2	250.954	165.58	145.44
5	374.702	370.84	323.85
10	452.524	522.51	391.11
25	543.265	761.70	469.53
50	623.773	977.47	539.11

B. Analisis Debit Banjir Periode Ulang

Debit banjir rencana adalah debit aliran disungai atau saluran yang besarnya ditentukan berdasarkan periode ulang atau kala ulang tertentu. Pertimbangan teknis dalam perhitungan banjir rencana adalah pemilihan koefisien pengaliran dan aliran dasar yang berkaitan erat dengan kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh pada Catchment Area tersebut.

Analisis debit banjir yang dilakukan dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Proses perhitungan debit banjir dimulai dengan pengumpulan data hujan dan topografi. Setelah data curah hujan rata-rata dan curah hujan rencana didapat maka dilanjutkan dengan perhitungan debit banjir rencana.

Dalam analisa debit banjir rencana digunakan hasil perhitungan curah hujan rencana dengan Distribusi Probabilitas Gumbel dimana dari hasil parameter statistik didapatkan memenuhi syarat dan juga sudah memenuhi syarat dari uji probabilitas menggunakan metoda Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorof. Digunakan Metode Hasper, Metode Weduwen dan Metode HSS Nakayasu sebagai berikut

Dari perhitungan debit banjir rencana dengan menggunakan 3 metode untuk menghitung kedalaman gerusan maka di pakai debit banjir yang nilai mendekati dengan nilai debit banjir lapangan yaitu 684,720 m3/dtk. Sehingga metode hasper dengan periode ulang 50 tahun yang nilai debit banjir rencana yang mendekati dengan nilai debit banjir lapangan yaitu sebesar 623,773 m3/dtk.

Tabel 5. Debit Banjir Rencana Terpakai

Periode Ulang (Tahun)	Metode Hasper (m3/dtk)
2	250.954
5	374.702
10	452.524
25	543.265
50	623.773

C. Perhitungan kedalaman gerusan dengan persamaan empiris

Persamaan kedalaman gerusan pada kondisi sebelum terjadi banjir disini menggunakan asumsi sama dengan kemiringan memanjang sungai secara rata-rata 0,002. Jembatan kuranji by pass secara analitik dilakukan dengan menggunakan beberapa rumus yaitu metode FHWA Bridges Scoring, Metode lacey dan metode Laucerse dan Touch.

Tabel 6. Rekapitulasi Perhitungan Kedalaman Gerusan

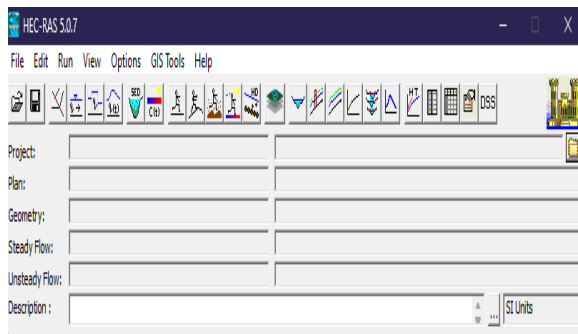
Periode Ulang (Tahun)	Debit (m3/dtk)	FHWA Bridge Scoring (m)	Metode Lacey (m)	Metode Laucerse and Thouth (m)
2	250.954	6.821	1.756	5.955
5	374.702	6.822	2.007	6.275
10	452.524	6.823	2.138	6.415
50	543.265	6.824	2.272	6.651
100	623.773	6.825	2.379	6.737

D. Pemodelan dengan HEC-RAS

Analisa hidrolika dilakukan dengan menggunakan program bantu HEC-RAS Jenis simulasi untuk analisa hidrolika pada program ini ada dua, yaitu *steady* dan *unsteady flow*. *Steady flow* adalah aliran di mana ada kemungkinan perbedaan sifat-sifat aliran di setiap titik, tetapi tidak berubah terhadap waktu. Sedangkan *unsteady flow* adalah aliran di mana sifat aliran tidak tetap dan bergantung terhadap waktu. Berikut ini adalah langkah-langkah permodelan HEC-RAS untuk memodelkan jembatan:

1) *Membuka program.*

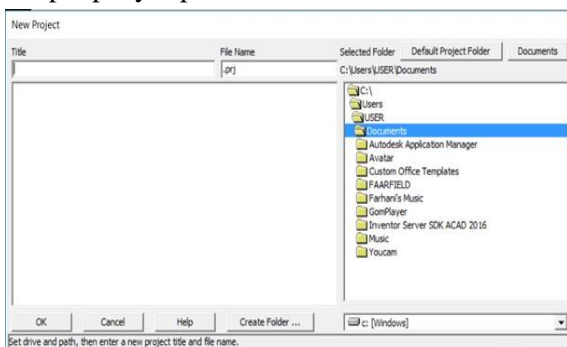
Layar utama HEC-RAS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. adalah tampilan yang akan tampil saat program ini dibuka.



Gambar 4. Layar Utama Program HEC-RAS

2) *Membuat project baru.*

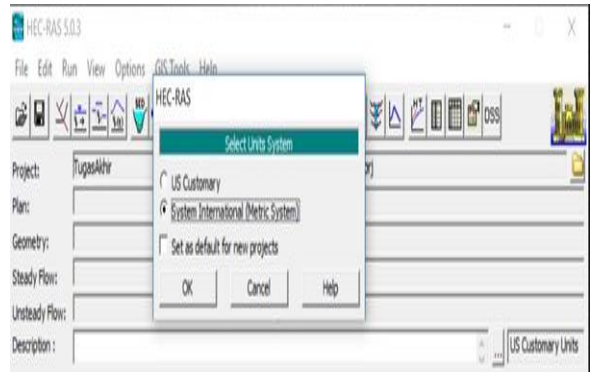
Sebelum melakukan permodelan, *file* harus terlebih dahulu dibuat dengan cara memilih *File* kemudian *New Project* dan akan tampil Gambar 5. Setelah itu menulis nama *project* dan memilih tempat penyimpanan folder.



Gambar 5. Tampilan untuk Pekerjaan Baru

3) *Mengubah sistem satuan.*

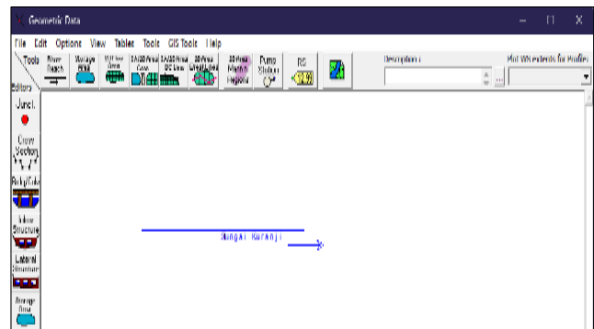
Ada dua sistem satuan yang terdapat di HEC-RAS yang dapat digunakan, pada tulisan ini yang digunakan *system international* yang dipilih melalui *Options* kemudian *Unit System* seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan mengganti Unit Satuan

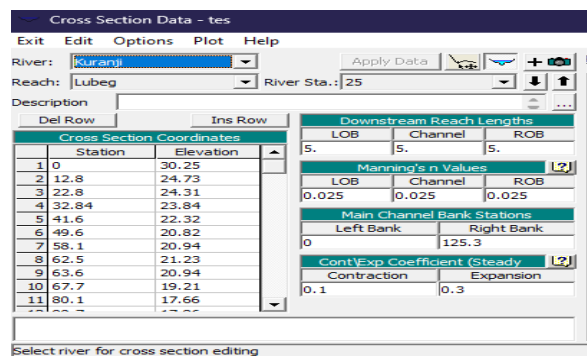
4) *Menggambar skema geometri dan penampang sungai.*

Skema geometri sungai digambar sesuai dengan data geometri yang didapatkan, dengan memilih *Edit/Enter Geometry Data* kemudian memilih *River Reach* sehingga hasilnya seperti pada Gambar 7.



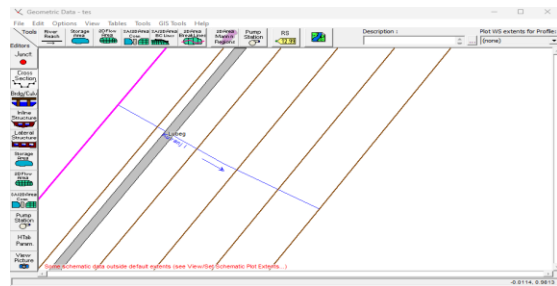
Gambar 7. Skema Aliran Sungai

Kemudian, memasukkan data penampang melintang sungai yang meliputi jarak, elevasi, koefisien Manning, jarak antar penampang, dan tanggul (*levee*). Pada tampilan di atas, pilih *Cross Section* dan akan tampil Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan untuk Memasukkan Data Potongan Melintang Sungai

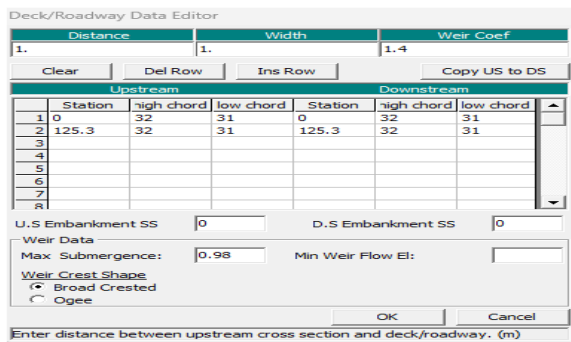
Setelah semua data potongan melintang selesai dimasukkan, maka pada layar utama *Geometric Data* akan terlihat seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan Skema Geometri Seluruh Penampang

5) Menggambar struktur melintang di atas sungai.

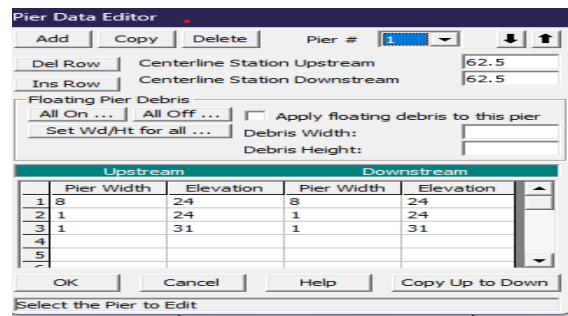
Cara membuat model jembatan adalah dengan memilih *Bridge/Culvert* kemudian dari *Options* pilih *Add Bridges and/or Culverts*. Setelah itu kita diminta untuk memasukkan sta lokasi di mana jembatan tersebut berada. Kemudian pilih *Deck/Roadway*; pada kolom *Distance* diisi dengan jarak jembatan ke penampang di hilir (*downstream*) jembatan dan pada kolom *Width* diisi dengan lebar *deck* jembatan. *High chord* dan *low chord* diisi dengan elevasi atas dan elevasi bawah *deck* jembatan. Angka-angka yang lainnya dapat diabaikan, sehingga akan ditentukan program secara *default*.



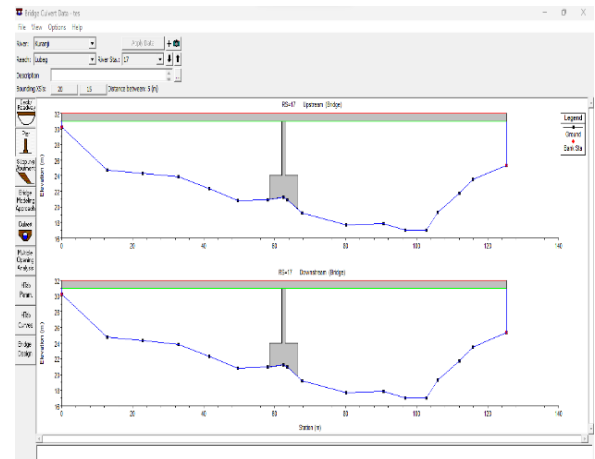
Gambar 10. Input Data Deck Jembatan Kuranji

Setelah memasukkan data *deck* jembatan seperti pada gambar di atas, selanjutnya adalah memasukkan data pilar jembatan dengan memilih *Pier*. Pada jendela tampilan *Pier Data Editor*, isikan jarak pilar di *Centerline Station Upstream* dan *Centerline Station Downstream*. Data pilar dapat ditiru untuk pilar lainnya dengan memperhatikan jarak.

Jika semua data pilar sudah dimasukkan seperti Gambar 11, maka tampilan jembatan Kuranji akan terlihat seperti Gambar 12.



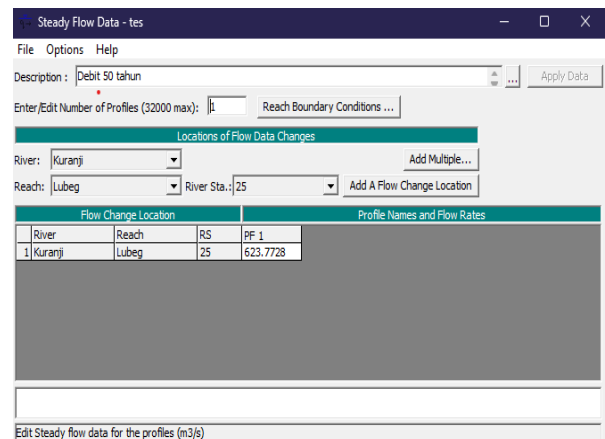
Gambar 11. Data Salah Satu Pilar Jembatan Kuranji



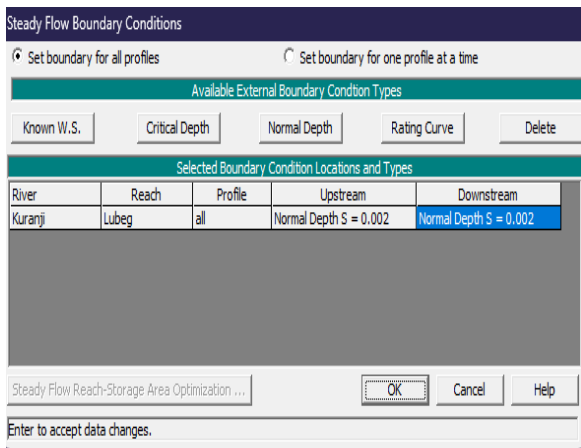
Gambar 12. Permodelan Jembatan Kuranji

6) Memasukkan data debit untuk analisa hidrolika.

Nilai debit yang terdapat pada Tabel 5. dimasukkan seperti pada Gambar 13. melalui pilihan menu *Edit* kemudian pilih *Steady Flow Data*. Setelah memasukkan semua data debit, pilih *Reach Boundary Conditions* dan mengisi kondisi batas untuk downstream sebagai *Normal Depth* kemudian mengisi kemiringan dasar sungai sebesar 0,002 seperti Gambar 14.



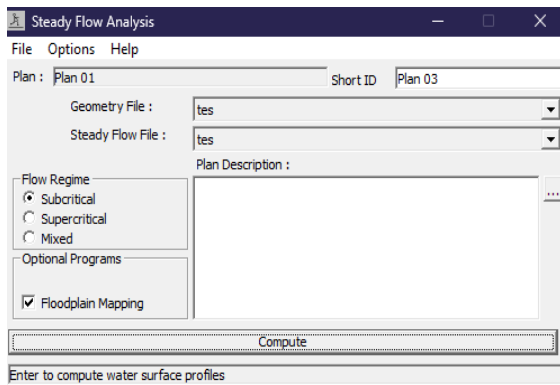
Gambar 13. Memasukkan Data Debit



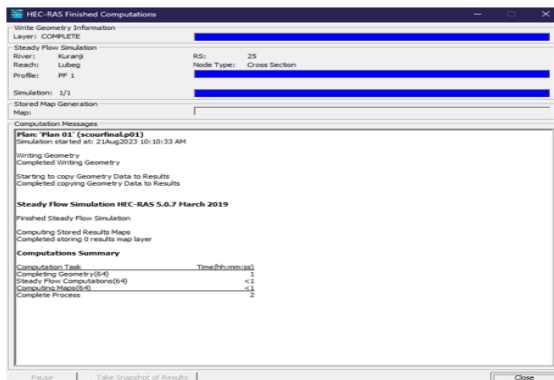
Gambar 14. Kondisi Batas untuk Hilir

7) Menjalankan program

Untuk menjalankan atau proses *running* program, pada tampilan utama pilih *Run* kemudian pilih *Steady Flow Analysis* dengan menyertakan tipe aliran *subcritical* seperti yang ditunjukkan Gambar 15. Hasil *running* selesai ditandai dengan ditampilkannya kotak dialog *Finished Computations* seperti Gambar 16, pada tampilan tersebut *error* yang terjadi juga dapat diketahui. Setelah melakukan *running steady flow* dan tidak ada *error*, barulah gerusan yang terjadi pada jembatan dapat dievaluasi.



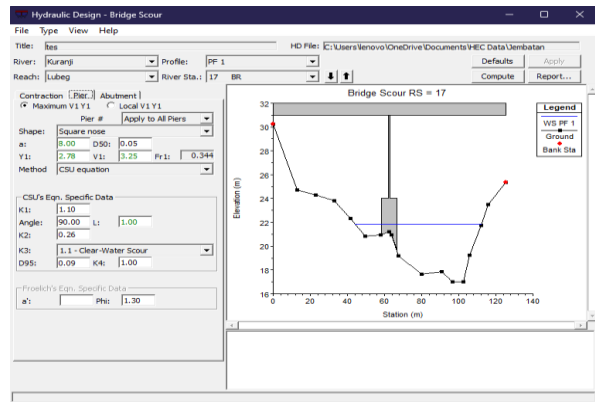
Gambar 15. Tampilan untuk Running Program



Gambar 16. Tampilan Running Selesai Dilakukan

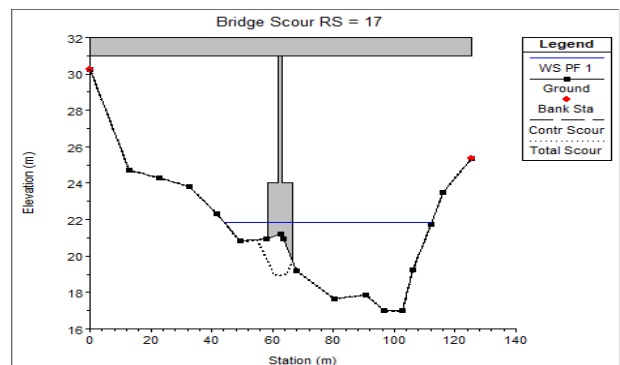
8) Menghitung Kedalaman Gerusan

Bentuk pilar jembatan kurangi adalah *sharp nose*, data yang diisi adalah sudut datang dan ukuran sedimen d_{50} . Gambar 17. menunjukkan isian data untuk pilar. Sudut datang atau *angle of attack* diisi dengan 90°

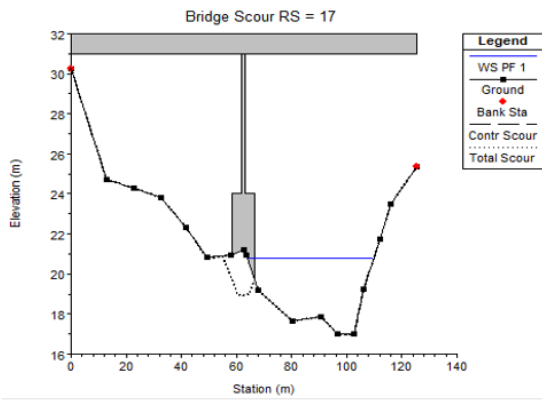


Gambar 17. Memasukkan Data untuk Pilar

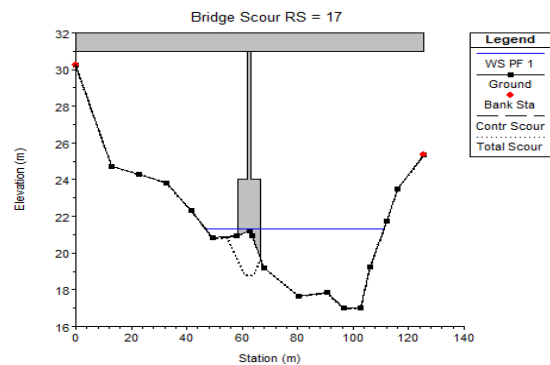
Kondisi pilar jembatan dari gambar desain masih berada di atas dasar sungai, sedangkan bagian bawahnya yang berupa *pile cap* berada di bawah dasar sungai, sehingga dapat diketahui bahwa *scouring* yang akan terjadi adalah pada bagian *pile cap* tersebut. Namun pada tulisan ini disimulasikan pilar jembatan selebar 8 m. Besar butir sedimen d_{50} dan d_{95} adalah 8,3 mm dan 13 mm. Setelah mengisi semua data, kemudian dilakukan analisa *scouring* dengan debit banjir rencana periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dengan memilih tombol *compute*. Gambar 18., Gambar 19., Gambar 20., Gambar 21., dan Gambar 22. menunjukkan pola gerusan yang terjadi pada debit banjir rencana tersebut. Kedalaman *Scouring* dengan Permodelan HEC-RAS dapat dilihat pada Tabel 7.



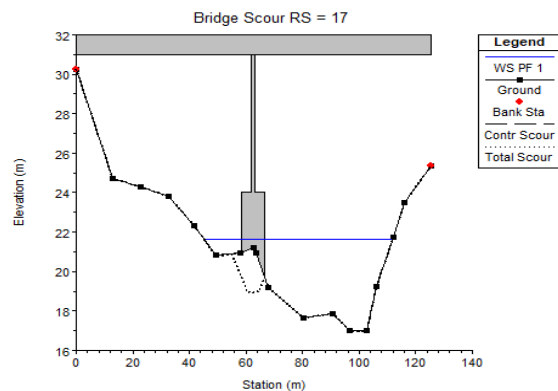
Gambar 18. Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 2 Tahun



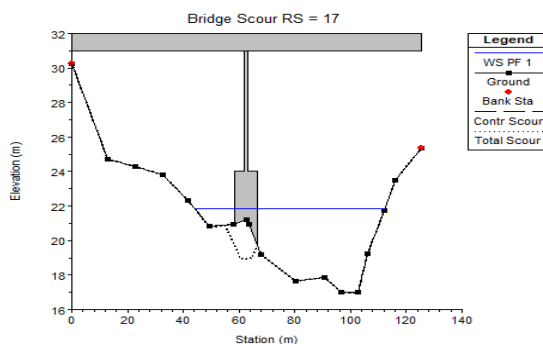
Gambar 19. Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 5 Tahun



Gambar 20. Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 10 Tahun



Gambar 21. Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 25 tahun



Gambar 22. 19 Total Scour yang Terjadi dengan Debit Rencana 50 Tahun

Tabel 1.7 Kedalaman Scouring dengan Permodelan HEC-RAS

Periode Ulang (Tahun)	Debit (m ³ /dt)	Scouring		
		Contraction (m)	Pier (m)	Total (m)
2	250.953	0.010	2.320	2.330
5	374.702	0.020	2.420	2.460
10	452.524	0.030	2.520	2.540
25	543.265	0.090	2.510	2.600
50	623.773	0.150	2.580	2.730

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan bahwa besar debit banjir rencana di Batang Kuranji untuk periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, secara berturut-turut adalah 250,9543 m³/dt, 374,7018 m³/dt, 452,5235 m³/dt, 543,265 m³ /dt, 623,773 m³ /dt. Kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar menggunakan analitis metode lacey dan aplikasi HEC-RAS untuk debit banjir periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun berturut-turut adalah 1.756 m, 2.007 m, 2.138 m, 2.272 m, 2.379 m dan 2.330 m, 2.460 m, 2.540 m, 2.600 m, 2.730 m. Hasil perhitungan analitis pada debit banjir kala ulang 50 tahun kedalaman gerusan adalah 2.379 m. Sedangkan hasil kedalaman maksimum gerusan dari analisis menggunakan aplikasi HEC-RAS adalah 2.730 m. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan analitis mendekati hasil analisis HEC-RAS

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat Pustaka atas bantuan data yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aisyah, S., 2004. *Pola Gerusan Lokal di Berbagai Bentuk Pilar Akibat Adanya Variasi Debit*, Tugas Akhir, UGM : Yogyakarta.
- [2] Asdak C.,2014, *Hidrologi dan Pengendalian Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] Breuser,H.N.C., Raudkivi,A.J.,1991,"*Scouring*", IHR Hydraulic Structure Design Manual,A.A Balkema,Rotterdam.
- [4] Chiew,Y.M.,1994,"*Riprap Protection Around A Bridge Piers*"Ninth Congres of the Internafor Association for Hydraulic Research IAHR, 3-10.

- [5] Chow, Ven Te. (1992) . *Hidrolika Saluran Terbuka Diterjemahkan oleh* : E.V. Nensi Rosalia. Jakarta : Erlangga
Menggunakan Program HEC-RAS” Jurnal UNY Vol. X. No. 2 2014.
- [6] Barokah, Ichsanul dkk, 2014 “Pengaruh Variasi Debit Aliran Terhadap Gerusan Maksimal Di Bangunan Jembatan Dengan
- [7] Cambodia Mirnanda 2020. “ Analisis Gerusan Lokal pada Pilar Jembatan Kereta Api BH. 337 akibat Aliran Sungai Cikao “ TEKNIKA SAINS Vol 5, No 2 (2020): TEKNIKA SAINS 44-53, DOI : 10.24967/teksis.v5i2.1085.
- [8] Feisal Muayyad Suma dkk. 2018, “Analisis Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Kuwil Kabupaten Minahasa Utara Menggunakan Metode Empiris”. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No. 11. 11 November 2018 (1017-1028) ISSN: 2337-6732.
- [9] Graf, W. H., 1998, “*Fluvial Hydraulic*”, Jhon Wiley dan Sons Ltd, England.
- [10] Legono, D., 1990 *Gerusan Pada Bangunan Sungai*, PAU Ilmu-Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- [11] Mangelsdorf, J., dan K. Scheurmann. 1980. *Flussmorphologie*. Miinchen.:R. Oldenbourg
- [12] Miller, W., 2003. *Model for The Time Rate of Local Sediment Scour At A Cylindrical Structure*, Disertasi, PPS Universitas Florida.
- [13] DarSosrodarsono Suyono.Masateru Tominang; penerjemah, Ir M. Yusuf Gayo, dkk, 2008.*Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Penerbit Pradnya Paramita. Jakarta
- [14] Triatmodjo Bambang 2009, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset Yogyakarta. Triatmodjo Bambang, 2015. *Hidrolika I*. Penerbit Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.