

# Studi Kapasitas Angkut dan Gerusan Lokal pada Penampang Sungai Brantas Akibat Pilar Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono

Aisyah Amelia, Umboro Lasminto dan Bambang Sarwono

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* bambang\_s@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Jalan Tol Mojokerto-Kertosono melintasi sungai Brantas di Kecamatan Gedeg, Mojokerto, untuk itu dibutuhkan jembatan sepanjang 299 m. Konstruksi jembatan tersebut berpotensi mengakibatkan terjadinya gerusan lokal pada dasar sungai maupun perubahan morfologi sungai. Oleh sebab itu perlu dilakukan studi kapasitas angkut dan gerusan lokal pada penampang sungai akibat pilar jembatan. Pada tugas akhir ini, dilakukan perhitungan debit rencana dengan metode Gumbel. Dalam analisa gerusan lokal digunakan modul Users Manual dan Reference Manual pada program Hec-Ras 5.0.3 untuk memprediksi kedalaman gerusan. Sedangkan analisa angkutan sedimen dihitung dengan permodelan sedimen pada program Hec-Ras 5.0.3. Hasil studi ini menghasilkan debit banjir rencana di sungai Brantas untuk 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun secara berturut-turut adalah 1.213,58 m<sup>3</sup>/dt, 1.444,48 m<sup>3</sup>/dt, 1.597,36 m<sup>3</sup>/dt, 1.790,53 m<sup>3</sup>/dt, 1.933,83 m<sup>3</sup>/dt, 2.076,07 m<sup>3</sup>/dt. Akibat dari *contraction scour* atau penyempitan sungai sebelum dibangun jembatan, pada debit 100 tahun terjadi gerusan sedalam 0,47 m di bagian kanan penampang sungai. Sedangkan setelah dibangun jembatan, diperkirakan gerusan akibat *contraction scour* dan pilar menjadi 7,4 m, kedalaman ini mendekati hitungan analitis sebesar 8,07 m. Angkutan sedimen sebelum ada jembatan adalah 386.551 m<sup>3</sup> dan penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,03m. Sedangkan setelah ada jembatan, volume angkutan sedimen kumulatif yang terangkut adalah 569.775 m<sup>3</sup> dengan penurunan dasar saluran rata-rata sebesar 1,51 m.

**Kata Kunci**—Angkutan sedimen, Gerusan lokal, Morfologi, Sungai Brantas

## I. PENDAHULUAN

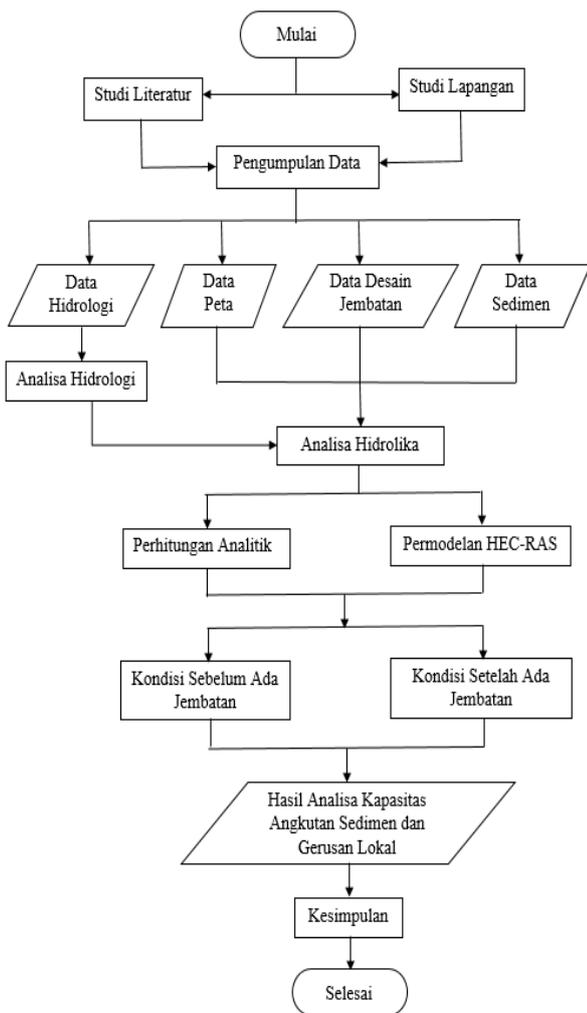
PERKEMBANGAN ekonomi dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat, hal ini menyebabkan adanya tuntutan-tuntutan untuk mempercepat pemenuhan infrastruktur sebagai penunjang kegiatan manusia, salah satunya jembatan. Jembatan merupakan prasarana transportasi yang berfungsi untuk memperlancar perpindahan barang dan manusia dari satu tempat ke tempat lainnya. Jembatan menghubungkan daerah-daerah yang terpisah karena adanya rintangan, seperti selat, sungai, atau jalan raya. Tol Mojokerto-Kertosono merupakan bagian dari proyek *Trans Java Tollway System* yang dimulai dari barat pulau Jawa tepatnya di Merak, Jawa Barat hingga Ketapang, Jawa Timur. Di Kecamatan Gedeg, Mojokerto, alinemen jalan tol ini melintang di atas Sungai Brantas sepanjang 299 m.

Adanya penghalang seperti bangunan bawah jembatan dapat menyebabkan perubahan pada morfologi sungai berupa agradasi atau degradasi sedimen. Jika terjadi agradasi, dasar sungai akan mengalami pendangkalan dan tinggi bebas antara muka air sungai dengan bagian bawah jembatan juga berkurang. Jika terjadi degradasi, maka erosi

dasar sungai akan mengakibatkan sungai semakin dalam, erosi tebing yang mengakibatkan sungai semakin lebar, sehingga menyebabkan terjadinya deposisi meander sungai. Selain itu, perubahan pola aliran yang disebabkan oleh adanya pilar dan abutment juga dapat mengakibatkan keseimbangan material dasar sungai terganggu. Sedimen yang terus-menerus mengendap dapat menyebabkan banjir karena kapasitas tampungan sungai yang berkurang, sedangkan sedimen yang terus-menerus terkisis akibat bertambahnya kecepatan aliran akan membuat struktur jembatan yang berada di atasnya menjadi tidak stabil.

Oleh karena itu, dibutuhkan analisa sedimen terhadap morfologi sungai dan analisa *scouring* pada penampang jembatan terhadap aliran sungai untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang terjadi akibat adanya jembatan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian.

### III. PEMBAHASAN

#### A. Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi yang dilakukan adalah perhitungan debit periode ulang yang melintasi ruas sungai pada lokasi studi. Debit periode ulang adalah debit yang terjadi satu kali di mana besarnya akan disamai atau dilampaui dalam periode tersebut.

Dalam tugas akhir ini debit periode ulang yang digunakan adalah 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Data yang digunakan adalah data debit harian yang tercatat dari pos pengamatan di Menturus dari Januari 1999 sampai dengan Januari 2011.

Dalam perhitungan debit periode ulang ini metode yang digunakan adalah metode Gumbel. Adapun langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung besar debit maksimum di setiap tahun.
2. Menghitung debit rata-rata maksimum.
3. Menghitung standar deviasi.
4. Menghitung konstanta  $\alpha$  dan  $u$ .
5. Menghitung faktor reduksi Gumbel ( $Y_T$ ).
6. Menghitung debit periode ulang.

Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan debit periode ulang 2 tahun.

Tabel 1.

Data Debit Maksimum			
Tahun	X	X - $\mu$	(X - $\mu$ ) <sup>2</sup>
1999	1.120	-136,5	18.632,25
2000	1.019	-237,5	56.406,25
2001	1.170	-86,5	7.482,25
2002	1.304	47,5	2.256,25
2003	955	-301,5	90.902,25
2004	1.600	343,5	117.992,3
2005	949	-307,5	945.56,25
2006	1.219	-37,5	1.406,25
2007	1.707	450,5	202.950,3
2008	1.329	72,5	5.256,25
2009	1.224	-32,5	1.056,25
2010	1.482	225,5	50.850,25
2011	828	-428,5	183.612,3
Jumlah			649.747
$\mu$	1.256,5		

Sumber: Hasil Perhitungan

Ket:  $\mu$  = nilai rata-rata

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{649747}{13 - 1}} = 261,28$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi} = 203,72$$

$$u = \mu + 0,5772\alpha = 1.138,91$$

$$Y_T = -\ln \left[ \ln \frac{T}{T - 1} \right] = -\ln \left[ \ln \frac{2}{2 - 1} \right] = 0,37$$

Sehingga, besarnya debit periode ulang 2 tahun adalah:

$$X_T = u + Y_T\alpha = 1.138,91 + 0,3665 \times 203,7227 = 1.213,58 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Untuk perhitungan debit periode ulang lainnya sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.

Hasil Perhitungan Debit Rencana Periode Ulang		
Periode Ulang	$Y_t$	$X_t$ (m <sup>3</sup> /dt)
2 tahun	0,367	1.213,58
5 tahun	1,499	1.444,48
10 tahun	2,250	1.597,36
25 tahun	3,198	1.790,53
50 tahun	3,902	1.933,83
100 tahun	4,600	2.076,07

Sumber: Hasil Perhitungan

#### B. Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan program bantu Hec-Ras 5.0.3. Jenis simulasi 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.

#### C. Analisa Gerusan di Sekitar Pilar

##### 1. Permodelan Gerusan pada Hec-Ras

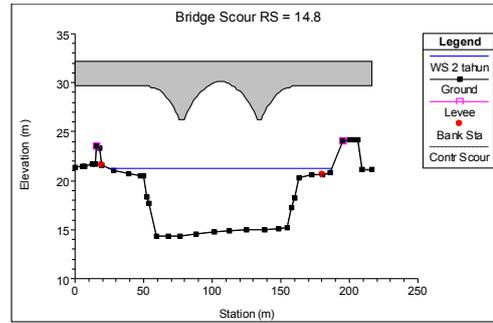
Permodelan gerusan pada program Hec-Ras dilakukan dengan memilih menu *Hydraulic Design Function* pada

tampilan utama dan memilih *Bridge Scour* pada *Type*. Pada analisa ini jenis *scouring* yang dapat diketahui, yaitu *contraction scour*, gerusan akibat pilar dan abutmen [1].

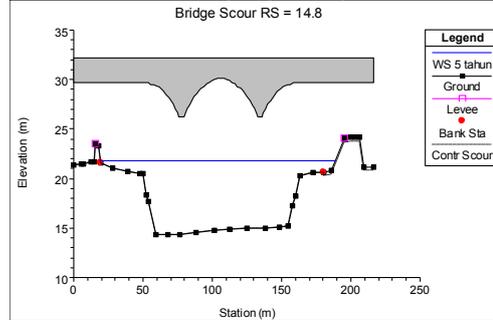
2. Permodelan Kondisi Sebelum Ada Jembatan

Permodelan kondisi sebelum ada jembatan dimaksudkan untuk mengetahui gerusan yang terjadi akibat penyempitan sungai. Pada kondisi ini pilar dihilangkan, sehingga pada penampang hanya terlihat *deck* jembatan saja. Beberapa data akan terisi secara otomatis, untuk *contraction* data yang dibutuhkan adalah ukuran sedimen *d50*, dan koefisien *K1* yang bisa dihitung otomatis oleh program.

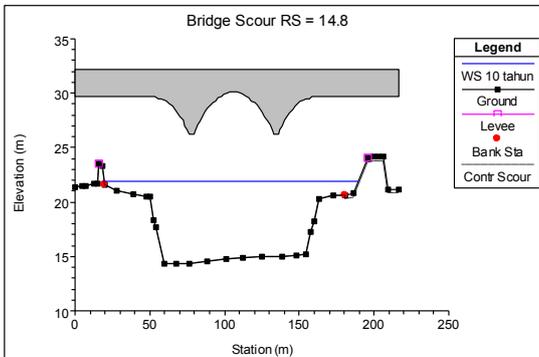
Berikut Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 adalah hasil simulasi *contraction scour* pada program Hec-Ras 5.0.3:



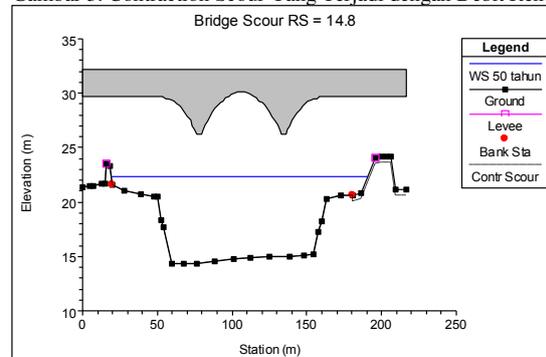
Gambar 2. Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 2 Tahun



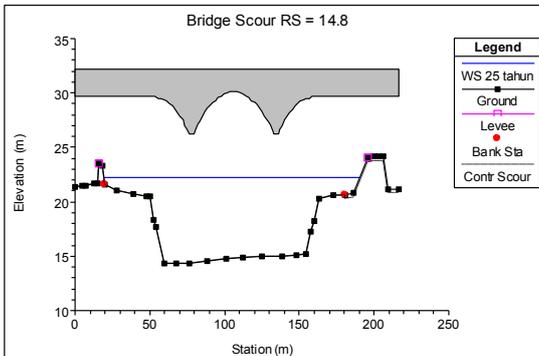
Gambar 3. Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 5 Tahun.



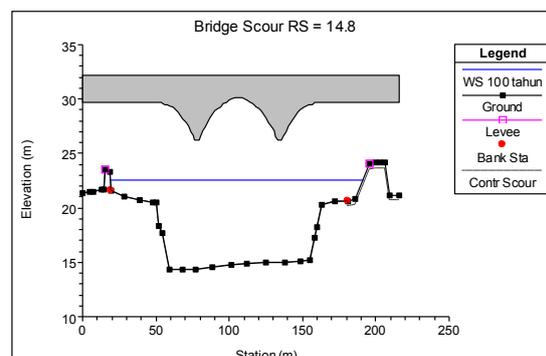
Gambar 4. Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 10 Tahun



Gambar 6. Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 50 Tahun



Gambar 5. Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 25 Tahun



Gambar 7. Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 100 Tahun

Hasil analisa kedalaman *contraction scour* disajikan dalam Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3.

Kedalaman *Contraction Scouring* terhadap Debit Periode Ulang pada Permodelan Hec-Ras

Periode Ulang	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	Contraction Scour		
		Left (m)	Channel (m)	Right (m)
2 tahun	1.213,58	-	0	0,11
5 tahun	1.444,48	-	0	0,38
10 tahun	1.597,36	0	0	0,37

25 tahun	1.790,53	0	0	0,37
50 tahun	1.93383	0	0	0,43
100 tahun	2.076,07	0	0	0,47

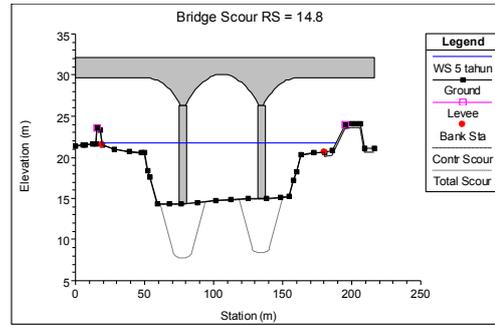
3. Permodelan Kondisi Sesudah Ada Jembatan

Permodelan sesudah ada jembatan dimaksudkan untuk mengetahui prediksi kedalaman gerusan total akibat *contraction scour* dan pilar. Bentuk pilar adalah *circular cylinder*, data yang diisi adalah sudut datang dan ukuran sedimen *d95*.

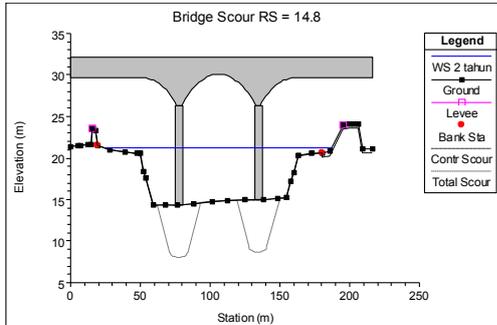
Kondisi pilar jembatan dari gambar desain masih berada di atas dasar sungai, sedangkan bagian bawahnya yang berupa

pile cap berada di bawah dasar sungai, sehingga dapat diketahui bahwa *scouring* yang akan terjadi adalah pada bagian *pile cap* tersebut. Namun pada tugas akhir ini disimulasikan pilar jembatan selebar 5,5 m tanpa adanya *pile cap*, ada pun alasannya adalah karena lebar *pile cap* yang sangat besar, yaitu 20 m, sehingga hasil *scouring* yang akan terjadi dapat diprediksikan tidak rasional.

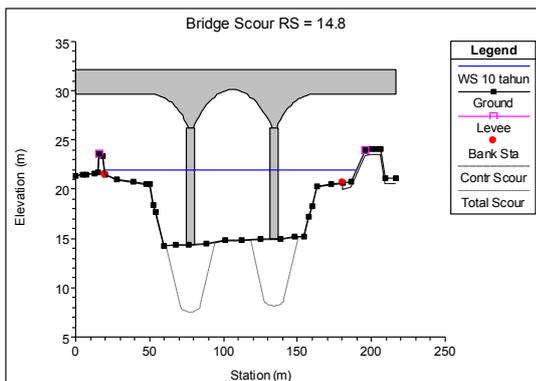
Berikut Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13 menunjukkan hasil simulasi untuk gerusan akibat *contraction scouring* dan pilar jembatan pada program Hec-Ras 5.0.3:



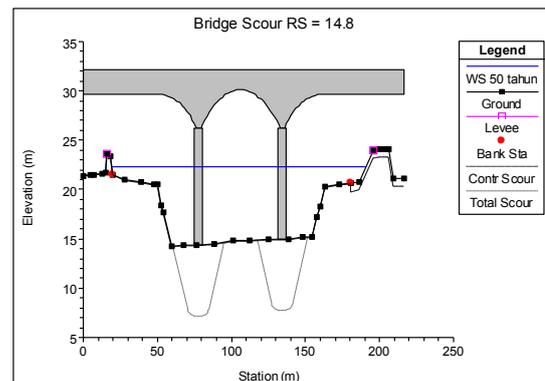
Gambar 9. Total Scouring Yang Terjadi dengan Debit Rencana 5 Tahun



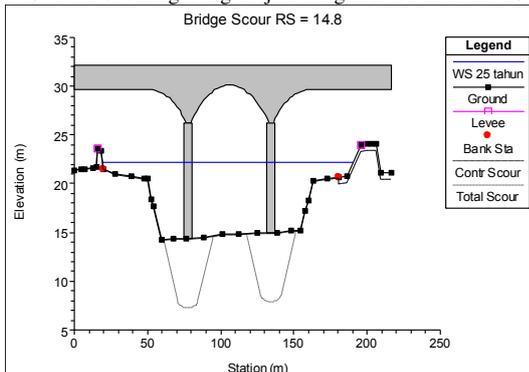
Gambar 8. Total Scouring Yang Terjadi dengan Debit Rencana 2 Tahun



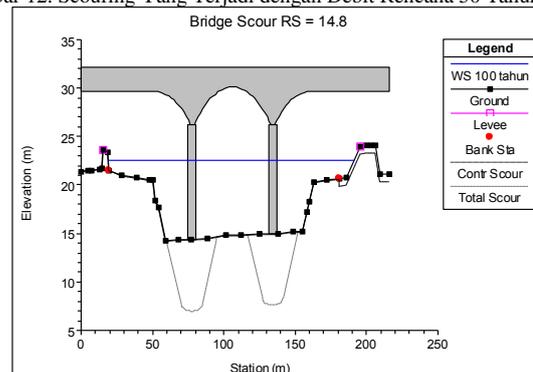
Gambar 10. Total Scouring Yang Terjadi dengan Debit Rencana 10 Tahun



Gambar 12. Scouring Yang Terjadi dengan Debit Rencana 50 Tahun



Gambar 11. Total Scouring Yang Terjadi dengan Debit Rencana 25 Tahun



Gambar 13. Scouring Yang Terjadi dengan Debit Rencana 100 Tahun

Hasil analisa kedalaman *total scouring* disajikan dalam Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4.

Kedalaman *Total Scouring* terhadap Debit Periode Ulang

Periode Ulang	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	Scouring		
		Contraction (m)	Pier (m)	Total (m)
2 tahun	1.213,58	0,06	6,28	6,34
5 tahun	1.444,48	0,09	6,53	6,62

10 tahun	1.597,36	0,1	6,74	6,84
25 tahun	1.790,53	0,11	6,97	7,08
50 tahun	1.933,83	0,11	7,14	7,25
100 tahun	2.076,07	0,11	7,29	7,4

Sumber: Program Hec-Ras 5.0.3

#### 4. Analisa Angkutan Sedimen antara Dua Penampang Sungai

Analisa angkutan sedimen antara dua penampang dilakukan dengan menggunakan rumus yang diusulkan oleh Neill (1973) untuk mengetahui gerusan antara dua pilar [2].

Caranya adalah dengan menentukan batas kecepatan tidak tergerus (*non-eroding velocity*), yaitu batas kecepatan di mana butiran sedimen tidak bergerak. Dalam perhitungan ini, kecepatan rata-rata yang dihasilkan oleh debit maksimum diasumsikan tidak menghasilkan adanya gerusan. Setelah itu, besarnya *Ucompetent* atau batas kecepatan tidak tergerus dapat ditentukan dari Gambar 2.12 pada BAB II dengan menggunakan kedalaman air di penampang dan ukuran butir sedimen.

Debit maksimum yang digunakan dalam analisa ini adalah debit periode ulang 100 tahun, yaitu 2.076,07 m<sup>3</sup>/dt dengan butir sedimen d50 rata-rata berdiameter 0,129 mm. Gerusan akan terjadi apabila Urata-rata lebih besar daripada *Ucompetent*.

Hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 5 di bawah, kolom jarak menyatakan jarak penampang dari hilir lokasi studi dan sta 0 menunjukkan titik tinjau hilir. Selain itu, dapat diketahui bahwa sebagian besar penampang mengalami gerusan, salah satunya adalah sta 14,8 yang merupakan penampang jembatan Tol Mojokerto-Kertosono. Hasil analisa ini dapat dijadikan dasar untuk analisa angkutan sedimen.

Tabel 5. Hasil Analisa Angkutan Sedimen dengan Debit 100 tahun

Jarak (m)	River Sta	Max Chnl Depth (m)	Vel Chnl (m/s)	Competent Vel (m/s)	Ket.
1.634,31	48	8,94	1,73	1,7	scouring
1.583,7	47	8,96	1,68	1,7	no scouring
1.533,62	46	9,55	1,75	1,8	no scouring
1.482,74	45	9,04	1,75	1,7	scouring
1.432,63	44	10,36	1,75	1,8	no scouring
1.390,81	43	10,71	1,68	1,8	no scouring
1.347,23	42	10,13	1,67	1,8	no scouring
1.304,97	41	10,16	1,57	1,8	no scouring
1.257,29	40	10,71	1,47	1,8	no scouring
1.209,66	39	10,43	1,41	1,8	no scouring
1.151,98	38	10,16	1,33	1,8	no scouring
1.100,19	37	9,55	1,47	1,7	no scouring
1.046,99	36	9,64	1,53	1,7	no scouring
996,45	35	9,41	1,61	1,7	no scouring
947,57	34	9,32	1,67	1,7	no scouring
898,24	33	9,06	1,78	1,7	scouring
872,91	32	10,91	1,63	1,8	no scouring
845,57	31	9,52	1,77	1,8	no scouring
823,58	30	8,99	1,82	1,7	scouring
803,13	29	9,05	1,92	1,7	scouring
781,31	28	9,59	1,85	1,8	scouring
760,09	27	9,75	1,78	1,8	no scouring
737,98	26	8,58	1,88	1,7	scouring
716,12	25	8,69	1,91	1,7	scouring
697,57	24	8,37	1,96	1,7	scouring
679	23	8,3	1,9	1,7	scouring
660,06	22	8,72	1,91	1,7	scouring
639,16	21	8,64	1,94	1,7	scouring
619,22	20	8,56	1,95	1,7	scouring

Tabel 5 (lanjutan)

Jarak (m)	River Sta	Max Chnl Depth (m)	Vel Chnl (m/s)	Competent Vel (m/s)	Ket.
596,7	19	8,56	2,1	1,7	scouring
576,58	18	8,6	2,09	1,7	scouring
555,71	17	8,4	2,08	1,7	scouring
535,33	16	8,25	2,4	1,7	scouring
515,94	15	8,29	2,21	1,7	scouring
522,09	14,8	8,21	2,47	1,7	scouring
493,1	14	8,37	2	1,7	scouring
469,96	13	8,37	1,94	1,7	scouring
486,66	12,3	8,33	2,07	1,7	scouring

444,54	12	9,45	1,9	1,8	scouring
419,14	11	8,15	2	1,7	scouring
393,03	10	8,77	2,04	1,7	scouring
367,9	9	8,14	2,05	1,7	scouring
343,42	8	8,08	2,01	1,7	scouring
319	7	8,61	1,92	1,7	scouring
285,4	6	7,8	1,94	1,6	scouring
253,3	5	7,67	1,92	1,6	scouring
202,27	4	7,96	1,78	1,6	scouring
149	3	7,72	1,86	1,6	scouring
102	2	7,28	1,95	1,6	scouring
57	1	6,48	2,32	1,5	scouring
0	0	4,21	3,36	1,3	scouring

Sumber: Hasil Perhitungan

5. Perhitungan Analitik Gerusan pada Pilar

Perhitungan gerusan atau *scouring* secara analitik [3] dilakukan dengan menggunakan beberapa rumus, yaitu Garde & Raju, Lacey, dan Neil (1964). Berikut adalah salah satu perhitungan *scouring* dengan debit periode ulang 2 tahun.

Diketahui:

Gs : 2,59 t/m<sup>3</sup>

D50 : 0,129 mm

a : 5,5 m

Q2 : 1.213,578 m<sup>3</sup>

V2 : 1,18 m/s

d : 7,66 m

1. Garde dan Raju

$$D = \left[ \frac{4}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left( \frac{U}{\sqrt{gy}} \right)^{n^*} \right] y$$

$$D = \left[ \frac{4}{0,965} \cdot 0,684 \cdot 2,45 \cdot 0,5 \cdot 0,83 \cdot \left( \frac{1,18}{\sqrt{9,81 \times 7,66}} \right)^{0,74} \right] \cdot 7,66$$

D = 5,29 m

2. Lacey

$$d = 0,473 \times \left( \frac{Q}{f} \right)^{0,33}$$

$$d = 0,473 \times \left( \frac{1.213,578}{1,76 \times \sqrt{0,129}} \right)^{0,33} = 5,73 \text{ m}$$

3. Neill (1964)

$$\frac{y_s}{y_0} = 1,5 \left( \frac{b}{y_0} \right)^{0,7}$$

$$\frac{y_s}{7,66} = 1,5 \left( \frac{5,5}{7,66} \right)^{0,7}$$

y<sub>s</sub> = 9,11 m

Berikut Tabel 6 adalah hasil perhitungan untuk debit rencana lainnya.

Tabel 6. Perhitungan Gerusan dengan Analitik

Periode Ulang	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	Kecepatan (m/s)	Garde & Raju	Lacey	Neil	Rata-rata
2	1.213,58	1,18	5,29	5,73	9,11	6,71
5	1.444,48	1,29	6	6,07	9,28	7,12
10	1.597,36	1,34	6,38	6,27	9,39	7,35
20	1.744,01	1,40	6,8	6,46	9,47	7,58

50	1.933,82	1,48	7,33	6,68	9,57	7,87
100	2.076,07	1,53	7,7	6,84	9,65	8,07

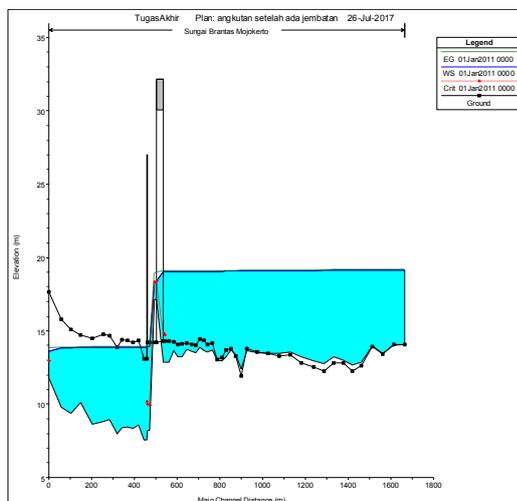
**D. Analisa Angkutan Sedimen**

**1. Permodelan Angkutan Sedimen pada Hec-Ras**

Permodelan angkutan sedimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini menggunakan pilihan analisa aliran tak permanen-semu atau *quasi-unsteady flow* yang terdapat pada Hec-Ras 5.0.3. Data-data yang akan dianalisa dimasukkan melalui opsi *data editor* pada Hec-Ras, yaitu *quasi-unsteady flow editor* dan *sediment data editor*.

Hasil analisa angkutan sedimen pada Hec-Ras 5.0.3 menunjukkan bahwa terjadi agradasi dan degradasi sedimen pada dasar sungai. Sebelum ada jembatan, degradasi terdalam yang terjadi adalah 5,97 meter dan agradasi setinggi 3,11 meter, dengan volume angkutan sedimen kumulatif adalah 386.551 m<sup>3</sup> serta penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,03 m. Sedangkan setelah ada jembatan, degradasi yang terdalam adalah 6,00 m dan agradasi tertinggi adalah 2,97 m, volume angkutan sedimen kumulatif yang terangkut adalah 569.775 m<sup>3</sup> dengan penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,51m.

Seperti hasil analisa angkutan sedimen untuk gerusan pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa perubahan dasar sungai menunjukkan hal yang sama, yaitu terjadinya gerusan di sebagian besar penampang yang ditunjukkan oleh Gambar 14. Sedangkan perubahan dasar sungai untuk profil memanjang pada kondisi sebelum dan setelah adanya jembatan ditampilkan oleh Gambar 15 dan Gambar 16 di bawah ini.



Gambar 14. Hasil Analisa Angkutan Sedimen pada Profil Memanjang



Gambar 15. Perubahan Dasar Sungai Sebelum Ada Jembatan



Gambar 16. Perubahan Dasar Sungai Setelah Ada Jembatan

**E. Perhitungan Analitik Angkutan Sedimen**

Konsentrasi angkutan sedimen dasar dihitung menggunakan rumus Laursen [4]. Debit air yang digunakan adalah debit air bulanan rata-rata dari data yang tersedia, sedangkan kedalaman yang digunakan dari analisa Hec-Ras. Berikut adalah contoh perhitungan untuk penampang A29 yang berada di sta 48.

Diketahui:

- D50: 0,129 mm
- S : 0,002
- Suhu : 25°C
- B : 89 m
- Q : 576,8 m<sup>3</sup>/dt
- γ<sub>s</sub> : 2,59 t/m<sup>3</sup>
- γ : 1 t/m<sup>3</sup>
- g : 9,81 m/s<sup>2</sup>

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

Hal yang perlu diperhatikan adalah perhitungan analitis ini menggunakan satuan *US Customary*.

Kecepatan jatuh diperoleh dari grafik hubungan diameter butiran dengan kecepatan jatuh. Untuk diameter 0,129 mm, suhu air 25C, dan *shape factor* diasumsikan 0,7 karena pasir alami maka diperoleh kecepatan jatuh= ω= 27 cm/s=0,27 m/s= 0,886 ft/s.

Kedalaman rata-rata penampang diperoleh dari trial dan eror sehingga diperoleh nilai koefisien Manning sesuai dengan data yaitu 0,03. Koefisein manning tersebut dihitung dengan persamaan

$$n = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{V}$$

Di mana

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + mh)h}{b + 2h \sqrt{m^2 + 1}}$$

dicoba nilai kedalaman rata-rata=D=h= 3,075 m= 10,088 ft

Luas penampang basah A = (b + mh)h = 3047,264

Keliling bash P = b + 2h√m<sup>2</sup> + 1 = 320,527

Jari-jari hidrolis, R = 9,507

Kecepatan rata- ft/s, V = 6,681 ft/s

Keofisien Manning = 0,03 (OK)

Kecepatan geser U\* = √g · D · S

= √9,81 x 3,075 x 0,002 = 0,806 ft/s

Angka Reynold, Re = 31,684

Tegangan geser τ' = ρV<sup>2</sup> / 58 (d<sub>50</sub> / D)<sup>1/3</sup> = 1,669 lb/ft<sup>2</sup>

Tegangan geser kritis diperoleh dari diagram Shield dengan berdasarkan pada besar angka Reynold. Dari grafik tersebut terlebih dahulu didapatkan nilai dimensionless

shear stress ( $\tau_*$ ), sehingga tegangan geser kritis dapat dihitung.

Untuk  $Re = 31,684$  diperoleh besar  $\tau_* = 0.035$ , maka tegangan geser kritis  $\tau_c = \tau_*(\gamma_s - \gamma) \cdot d_{50} = 0,00147$

Konsentrasi sedimen

$$C_t = 1.067 \text{ ppm}$$

Debit muatan sedimen per satuan lebar penampang

$$q_s = q \times C_t = 0,494 \times 2,217 = 1,096 \text{ kg/s /m}$$

Debit muatan sedimen

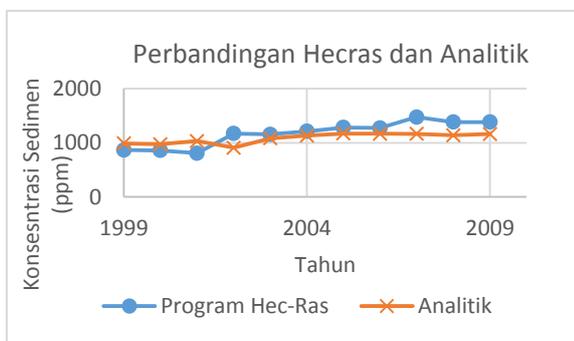
$$Q_s = q_s \times B = 1,096 \times 145 = 158,85 \text{ kg/s}$$

Hasil perhitungan analitik ini kemudian dibandingkan dengan hasil yang didapatkan pada simulasi sedimen di Hec-Ras, dan menunjukkan hasil yang saling berdekatan, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 17.

Tabel 7.

Perbandingan konsentrasi sedimen simulasi Hec-Ras dan Analitik

Tahun	Hec Ras	Analitik
1999	868,29	988,48
2000	859,72	972,00
2001	808,58	1.031,96
2002	1.170,17	909,53
2003	1.155,70	1.083,19
2004	1.211,98	1.132,91
2005	1.281,38	1.170,43
2006	1.272,59	1.167,79
2007	1.473,36	1.165,6
2008	1.383,83	1.137,51
2009	1.383,29	1.162,43
2010	2.391,99	1.073,44



Gambar 17. Grafik Perbandingan Analisa Hec-ras dan Perhitungan Analitik

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Besar debit aliran rencana di sungai Brantas untuk 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun secara berturut-turut adalah 1.213,58 m<sup>3</sup>/dt, 1.444,48 m<sup>3</sup>/dt, 1.597,36 m<sup>3</sup>/dt, 1.790,53 m<sup>3</sup>/dt, 1.933,83 m<sup>3</sup>/dt, 2.076,07 m<sup>3</sup>/dt.
2. Hasil analisa angkutan sedimen pada Hec-Ras menunjukkan bahwa terjadi aggradasi dan degradasi sedimen pada dasar sungai. Sebelum ada jembatan, degradasi terdalam yang terjadi adalah 5,97 meter dan aggradasi setinggi 3,11 meter, dengan volume angkutan sedimen kumulatif adalah 386.551m<sup>3</sup> serta penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,03m. Sedangkan setelah ada jembatan, degradasi yang terdalam adalah 6,00 m dan aggradasi tertinggi adalah 2,97 m, volume angkutan sedimen kumulatif yang terangkut adalah 569.775 m<sup>3</sup> dengan penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,51 m.
3. Berdasarkan hasil permodelan, dapat diketahui jika keberadaan jembatan memberikan pengaruh terhadap angkutan sedimen di penampang sungai disekitarnya. Pada tugas akhir ini, adanya jembatan tol Mojokerto-Kertosono memberikan pengaruh pada angkutan sedimen.
4. Dari analisa pada permodelan Hec-Ras, dapat diketahui bahwa pilar jembatan menyebabkan terjadinya gerusan lokal. Kedalaman gerusan yang terjadi pada debit rencana 100 tahun adalah 7,4 m yang mendekati hasil perhitungan analitik dengan kedalaman rata-rata didapat 8,07 m.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. W. Bruner, *HEC-RAS 5.0 Reference Manual*. Davis: US Army Corps of Engineers, 2016.
- [2] E. L. Pemberton and J. M. Lara, "Computing Degradation and Local Scour," Colorado, 1984.
- [3] H. N. . Breusers and A. J. Raudkivi, *Scouring*. Netherlands: A.A. Balkema Publishers, 1991.
- [4] C. T. Yang, *Sediment Transport: Theory and Practice*. Singapore: Mc Graw Hill, 1996.