

PERENCANAAN PERBAIKAN MUARA SUNGAI BANJIR KANAL TIMUR SEMARANG

Citra Ermas Victoria, Irene Bernike, Salamun^{*)}, Sugiyanto^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang sering terjadi di berbagai sungai adalah permasalahan sedimentasi. Sedimentasi seringkali menjadi awal bagi permasalahan lainnya, seperti banjir, dan terhambatnya aliran sungai. Sedimentasi kerap diakibatkan oleh kecepatan aliran yang rendah. Kecepatan aliran yang rendah ini kemudian mengakibatkan terjadinya endapan yang berpotensi pada pendangkalan dasar sungai. Kawasan muara dari suatu sungai adalah yang paling rawan terhadap masalah ini. Letaknya yang berada berdekatan dengan garis pantai membuat aliran menjadi sangat lambat. Oleh karena itu pada muara yang kecepatan alirannya lambat, perlu dilakukan usaha untuk menaikkan kecepatan aliran.

Dalam kasus Sungai Banjir Kanal Timur, melalui simulasi hidraulis dengan HEC-RAS 5.0.3. didapati kecepatan aliran pada saat pasang tertinggi dengan debit 79.0025 m³/detik adalah 0,18 m/detik, dengan diameter butiran d_{50} sebesar 0,0059 mm. Jika dievaluasi dengan grafik Hjulstrom maka kondisi tersebut akan jatuh pada fase transisi, dimana sedimen baru akan mulai bergerak.

Penempatan krib *corrugated concrete sheet piles* W 350 sebanyak 8 buah di kedua sisi sungai dengan jarak 30 m antar *sheet piles*, sepanjang 1000 m dari muara, pada debit 79,0025 m³/detik, ternyata memberikan penambahan kecepatan sebesar 0,72 m/detik. Sehingga kecepatan pada muara Sungai BKT menjadi 0,8 m/detik. Jika dievaluasi dengan grafik Hjulstrom maka kondisi tersebut akan jatuh pada fase bergerak atau fase dimana sedimen sudah tertransportasi.

Kata Kunci: Sedimentasi Sungai, Krib, Muara.

ABSTRACT

One of the problems that often happens in any river is deposition. Deposition becomes the root for other problems, for instance flooding, and river flow retardation. Deposition happens usually because of insufficiency of flow velocity. This inadequate velocity then causing deposition that can lead to silting of the river base. The estuary of a river is an area that prone to this problem. Its location that close to the coastline make the velocity decreased. Therefore, action to increase flow velocity in river estuary is needed.

In East Floodway case, through simulation held with HEC-RAS 5.0.3., it is acknowledged that the flow velocity when sea water level rise to its highest high water level, with discharge of 79.0025 m³/sec, is 0,18 m/sec, with sediment grain size of 0,0059 mm. If that result

**)Penulis Penanggung Jawab*

evaluated by Hjulstrom Graphic then that given condition will be on transition phase, where sediment is just begin to move.

Construction of eight corrugated concrete sheet piles spurs, W 350, on each side of the river, with 30 meters distance for each group, 1000 meters from estuary, with discharge of 79,0025 m³/sec, enhance the flow velocity up to 0,72 m/sec. Therefore the flow velocity of East Floodway Estuary become 0,8 m/sec. If that result evaluated by Hjulstrom Graphic then that given condition will be on transport phase, or the situation where sediment will be transported along the river.

Keyword: River Deposition, Spurs, Estuary.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Salah satu permasalahan yang sering terjadi di berbagai sungai adalah permasalahan sedimentasi. Sedimentasi seringkali menjadi awal bagi permasalahan lainnya, seperti banjir, dan terhambatnya aliran sungai. Permasalahan sedimentasi kerap muncul pada sungai yang terletak di dataran rendah, dimana kemiringan dasar saluran rendah sehingga mengakibatkan kecepatan aliran rendah. Kawasan muara dari suatu sungai adalah yang paling rawan terhadap masalah ini.

Penanganan sedimen dapat dilaksanakan apabila kecepatan aliran cukup untuk mengimbangi gaya gravitasi. Oleh karena itu pada muara yang kecepatan alirannya lambat, perlu dilakukan usaha untuk menaikkan kecepatan aliran. Meningkatkan kecepatan aliran dapat dilakukan dengan memperkecil luas penampang sampai luasan tertentu dan dapat pula dengan memanfaatkan beda tinggi energi saat pasang dan surut. Krib dapat menjadi alternatif untuk memperkecil luas penampang sampai pada nilai tertentu dan dapat dimanfaatkan untuk memperbesar kecepatan aliran.

Muara Sungai Banjir Kanal Timur mengalami masalah pendangkalan yang diakibatkan oleh sedimentasi. Sedimentasi tersebut berasal dari hulu sungai. Kecepatan eksisting pada muara sungai belum cukup efektif untuk mengurangi sedimentasi yang terjadi. Keberadaan sedimen yang mengakibatkan pendangkalan tersebut berujung kepada permasalahan seperti bencana banjir dan lain-lain. Oleh karena itu perlu dipikirkan cara agar proses pendangkalan di Muara Sungai Banjir Kanal Timur tersebut bisa dikurangi.

Maksud dan Tujuan

Maksud penyusunan tugas akhir ini adalah untuk memodelkan krib pada muara Sungai Banjir Kanal Timur menggunakan *software HEC-RAS 5.0.3*.

Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah menemukan formasi krib yang terbaik dalam rangka meningkatkan kecepatan aliran pada muara Sungai Banjir Kanal Timur.

Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan ini berada pada Muara Sungai Banjir Kanal Timur, yang terletak di wilayah administratif Kecamatan Gayamsari, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Pekerjaan
(Sumber: BBWS, 2017)

METODOLOGI PENELITIAN

Pada studi ini dikerjakan tahap-tahap yang urut dan simultan sebagai berikut:

1. Analisa data-data hidrologi dan hidraulika
2. Pembuatan model muara sungai
3. Variasi formasi pemasangan krib pada muara
4. Merencanakan desain krib
5. Membut RKS, Metopel, RAB dan Penjadwalan

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Alur Sungai Banjir Kanal Timur

Tipe Sungai Banjir Kanal Timur

Sungai Banjir Kanal Timur adalah sungai tidak terjal dan cenderung datar. Hal ini dapat dilihat dari nilai kemiringan Sungai Banjir Kanal Timur yang bernilai mendekati 0 % di semua bagian sungai (Tabel 1).

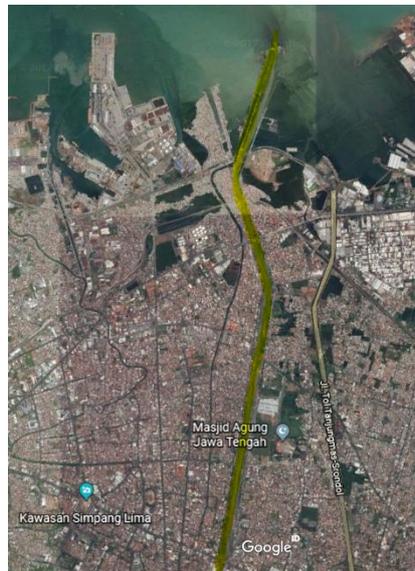
Tabel 1. Tipe Sungai Banjir Kanal Timur

Bagian Sungai BKT	STA	Beda Elev. (m)	Slope	Kemiringan Sungai Menurut Letak Geografis
Daerah Hulu	12+600 s/d 9+800	12,026	0,002505	2-3 % (Pegunungan)
Daerah Transisi	9+800 s/d 5+000	3,959	0,000824	Kurang dari 2 %
Daerah Hilir	5+000 s/d 0+000	2,068	0,000414	Mendekati 0 % (dataran rendah)

(Sumber: Hasil perhitungan)

Morfologi Sungai Banjir Kanal Timur

Sungai Banjir Kanal Timur mempunyai morfologi yang cenderung lurus (*straight*) dan tidak berkelok-kelok, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Foto Udara Sungai Banjir Kanal Timur STA 0+000~STA 6+500

(Sumber: Google Earth)

Tipe Muara Sungai Banjir Kanal Timur

Muara Sungai Banjir Kanal Timur merupakan tipe muara yang didominasi oleh aliran sungai atau *tide dominated river mouth*. Bentuk muara dari Sungai Banjir Kanal Timur dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Muara Sungai Banjir Kanal Timur
(Sumber: Google Earth)

Komponen Sungai Banjir Kanal Timur

1. Komponen Hidraulik

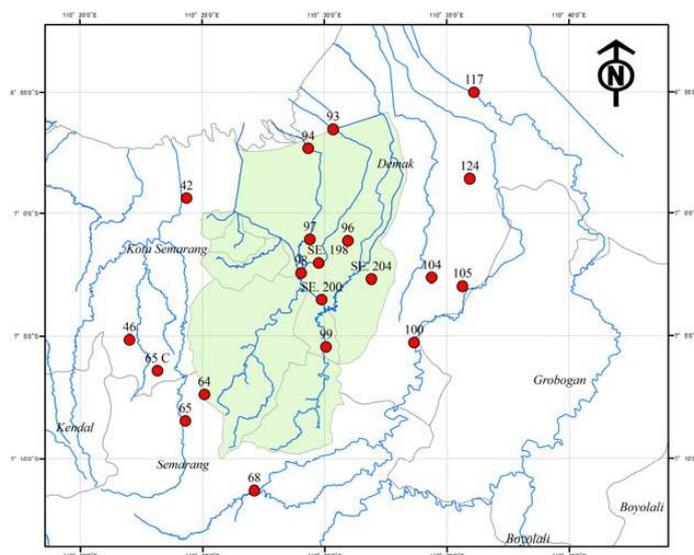
Sungai Banjir Kanal Timur mempunyai debit aliran rata-rata adalah kurang lebih 79,0025 m³/s, dengan kecepatan rata-rata aliran sungai 0,25 m/s.

2. Komponen Sedimen

Sedimen yang menjadi fokus utama dalam laporan ini adalah sedimen anorganik. Sedimen yang mengalir dan terlarut dalam aliran sungai banjir kanal timur sebagian besarnya adalah lanau kelempungan.

Analisa Hidrologi

Analisis ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui hujan rata-rata yang mewakili pada daerah tangkapan (*catchment area*), hujan rencana dan debit banjir rencana dengan cara menganalisis data-data hujan harian maksimum yang didapat dari ke-6 stasiun penangkar hujan di sekitar wilayah sungai banjir kanal timur.



Gambar 4. Stasiun Pos Hujan Pengaruh Aliran Sungai Banjir Kanal Timur

Karena masalah ketersediaan data, stasiun pos hujan yang digunakan dalam pekerjaan normalisasi Sungai Banjir Kanal Timur untuk daerah ini, adalah:

1. Stasiun Pos Hujan No. 96 Brumbung
2. Stasiun Pos Hujan No. 42a Kalisari
3. Stasiun Pos Hujan No. 97 Plamongan
4. Stasiun Pos Hujan No. 98 Pucang Gading
5. Stasiun Pos Hujan No. 99 Banyumeneng
6. Stasiun Pos Hujan No. 200 Wedoro

Perhitungan curah hujan rencana dihitung menggunakan Metode *Thiessen*. Hal yang pertama dilakukan adalah membagi luas daerah pengaruh sungai untuk enam stasiun pos hujan diatas. Setelah luas daerah pengaruh dari tiap-tiap Stasiun Pos Hujan dihitung, maka Koefisien *Thiessen* dapat ditentukan, dengan Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien *Thiessen* pada DPS Dolok-Penggaron

No.	Nama Stasiun Pos	Luas DTA (Ai)	Koefisien <i>Thiessen</i>
1	Brumbung	92,619	0,24882
2	Kalisari	108,984	0,29279
3	Plamongan	14,051	0,03775
4	Pucang Gading	48,237	0,12959
5	Banyumeneng	90,912	0,24423
6	Wedoro	17,428	0,04682
Total		372,231	1

(Sumber: Hasil perhitungan)

Untuk mendapatkan hasil yang memiliki akurasi tinggi, dibutuhkan ketersediaan data yang secara kualitas dan kuantitas cukup memadai. Data hujan yang digunakan direncanakan selama 21 tahun sejak Tahun 1995 hingga Tahun 2015, seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Curah Hujan Maksimum dengan Metode *Polygon Thiessen*

Tahun	Rmax (mm)	Tahun	Rmax (mm)
1995	104,710	2006	106,080
1996	89,028	2007	26,424
1997	105,083	2008	72,580
1998	118,072	2009	93,646
1999	94,382	2010	82,819
2000	91,254	2011	95,249
2001	99,306	2012	81,518
2002	74,609	2013	107,625
2003	91,150	2014	136,204
2004	88,985	2015	131,768
2005	95,779		

(Sumber: Hasil perhitungan)

Analisa debit rencana dilakukan dengan melakukan pengukuran dispersi. Pada pengukuran dispersi tidak semua nilai dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Untuk pengukuran dispersi ini dilakukan dengan Metode Distribusi Normal, Log Normal, Log Pearson III dan Gumbel. Nilai pengukuran dari masing-masing distribusi beserta syarat pemilihannya disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Syarat Penggunaan Jenis Sebaran

No.	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan	Kriteria
1	Distribusi Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$	$C_s = 0,955$ $C_k = 5,070$	Tidak Mendekati
2	Distribusi Gumbel	$C_s \approx 1,1396$ $C_k \approx 5,4002$	$C_v = 0,238$	Mendekati
3	Distribusi Log Normal	$C_s \approx 3C_v + C_v^2 = 0,222$ $C_k \approx C_v^3 + 6C_v^2 + 15C_v + 3 = 3,084$	$C_s = 2,824$ $C_k = 10,165$	Tidak Mendekati
4	Distribusi Log Person III	$C_s \neq 0$ $C_k \approx 1,5C_s^2 + 3 \approx 14,964$	$C_v = 0,072$	Mendekati

(Sumber: Hasil perhitungan)

Dari pengukuran dispersi di atas, Distribusi Log Pearson III dan Gumbel dipilih untuk menentukan curah hujan rencana. Dari perhitungan Metode Log Pearson III menghasilkan nilai curah hujan rencana yang lebih besar dari pada Gumbel, sehingga hasil perhitungan dengan Metode Distribusi Log Pearson III digunakan sebagai curah hujan rencana. hasil ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Curah Hujan Rencana Dengan Metode Log Pearson III

No.	T (th)	P (%)	log Xr (mm)	Sd	Cs	KT	Log Xt	Xt
1	2	50	1,9587	0,1413	2,8242	-0,385	1,9042373	80,211627
2	5	80	1,9587	0,1413	2,8242	0,455	2,0230198	105,44349
3	10	90	1,9587	0,1413	2,8242	1,206	2,1291643	134,63697
4	25	96	1,9587	0,1413	2,8242	2,277	2,2803723	190,70948
5	50	98	1,9587	0,1413	2,8242	3,129	2,400856	251,6842
6	100	99	1,9587	0,1413	2,8242	4,003	2,5243804	334,48791

(Sumber: Hasil perhitungan)

Debit Banjir Rencana

Untuk menghitung atau memperkirakan besarnya debit banjir yang akan terjadi dalam berbagai periode ulang dengan hasil yang baik dapat dilakukan dengan analisis data aliran

dari sungai yang bersangkutan. Oleh karena data aliran yang bersangkutan tidak tersedia maka dalam perhitungan debit banjir akan digunakan beberapa metode yaitu:

- Metode Rasional
- Metode Der Weduwen
- Metode Haspers

Hasil dari pengamatan disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Resume Hasil Debit Banjir Rencana Dengan Metode Rasional, Der Weduwen, dan Haspers

Periode Ulang	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)		
	Rasional	Weduwen	Haspers
2	24,487	118,837	423,638
5	33,001	156,219	556,900
10	43,329	199,470	711,086
25	64,589	282,544	1007,233
50	89,783	372,881	1329,272
100	127,374	495,558	1766,600

(Sumber: Hasil perhitungan)

Desain debit banjir maksimal untuk Sungai Banjir Kanal Timur untuk periode 50 tahunan adalah 260 m³/s. Untuk itu, debit banjir rencana yang digunakan untuk mendesain penampang Sungai Banjir Kanal Timur dengan krib adalah debit banjir rencana 50 tahunan dari Metode Der Weduwen yaitu sebesar 372,881 m³/s.

Pasang Surut

Perhitungan pasang surut menggunakan data sekunder hasil pengukuran oleh BMKG Kemaritiman, Semarang pada bulan April tahun 2017. Pengolahan data pasang surut tersebut dilakukan dengan menggunakan Metode Admiralty selama 29 pialan dengan hasil sebagai berikut:

1. Nilai Formzhal untuk pasang surut pada muara Sungai Banjir Kanal Timur adalah 0,982. Nilai ini menunjukkan bahwa tipe pasang surut pada muara Sungai BKT adalah tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda. Hal ini berarti dalam satu hari dapat terjadi dua kali pasang dan dua kali surut tidak sama tinggi.
2. Hasil *desain water level* adalah sebagai berikut:
 - HHWL = 187,49 m
 - MHWL = 131,20 m
 - MSL = 77,59 m
 - MLWL = 23,97 m
 - LLWL = -32,30 m

Penanganan Sungai Banjir Kanal Timur

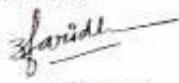
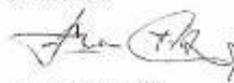
1. Banjir

Hasil survey banjir yang dilakukan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana menunjukkan bahwa terjadi banjir tahunan pada daerah pengaliran Sungai Banjir Kanal Timur. Daerah di tepi sungai sering mengalami banjir tahunan yang kedalamannya dapat mencapai 0,7 m. Salah satu tindakan pencegahan atas masalah ini adalah dengan mengatur pintu air di Bendung Pucanggading. Harus dipastikan bahwa debit yang masuk ke Sungai Banjir Kanal Timur adalah sebesar $140 \text{ m}^3/\text{s}$. Nilai ini ditentukan dengan pertimbangan bahwa kapasitas desain yang ideal bagi Sungai Banjir Kanal Timur adalah $145 \text{ m}^3/\text{s}$. Hasil wawancara dengan Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana menginformasikan bahwa banjir juga disebabkan oleh berkurangnya kapasitas alur sungai sebagai dampak dari sedimentasi yang cukup tinggi di hilir sungai.

2. Sedimentasi

Mengacu pada Jurnal Teknik Sipil Vol.4, No.4, Tahun 2015 tentang Pengembangan Sungai Banjir Kanal Timur Semarang Sebagai Transportasi Sungai untuk Tujuan Wisata, disebutkan bahwa dari Metode Einstein, diketahui ketinggian sedimen yang terjadi di Banjir Kanal Timur adalah sebesar $0,04376 \text{ m/tahun}$.

Berikut disajikan data salah satu hasil pengujian sedimen dari dasar sungai dan contoh air sungai, oleh BBWS Pemali-Juana, yaitu pada Gambar 4. Contoh tanah sedimen dasar (*bed load*) dianalisis di laboratorium hidrometri untuk mengetahui berat jenis dan distribusi butirannya, sedangkan kadar sedimen dari contoh air sungai dianalisis dengan menggunakan metode filtrasi.

	SOIL MECHANICS LABORATORY PROGRAM STUDY OF CIVIL ENGINEERING BANDUNG INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Form no. (No. Formasi)																																																																																																																					
		Issue/Revision																																																																																																																					
		Revision (Revisi)																																																																																																																					
RESULT OF GRAIN SIZE ANALYSIS		Page 2 of 2																																																																																																																					
Project : Type of sample : DS (Terganggu) Sample no : BBN III Depth (m) : Tebing Weight of soil : 200 gr Water Content : 0 %	Location : Date : Sample Accepted : 23 Juni 2009 Sample Tested : 29 Juni 2009 Test Finished : 29 Juli 2009																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sieve no. (No. Ayakan)</th> <th>Diameter (mm)</th> <th>Mass Retained (gr)</th> <th>Percent Retained (%)</th> <th>Percent Cumulative Retained (%)</th> <th>Percent Passing (%)</th> <th>Remarks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4</td><td>4.75</td><td>0.51</td><td>0.26</td><td>0.26</td><td>99.75</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2.00</td><td>1.63</td><td>0.82</td><td>1.07</td><td>98.93</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>1.00</td><td>2.22</td><td>1.11</td><td>2.18</td><td>97.82</td><td></td></tr> <tr><td>35</td><td>0.50</td><td>3.36</td><td>1.68</td><td>3.86</td><td>96.14</td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td>0.25</td><td>6.00</td><td>3.00</td><td>6.86</td><td>93.14</td><td></td></tr> <tr><td>100</td><td>0.15</td><td>7.23</td><td>3.62</td><td>10.48</td><td>89.53</td><td></td></tr> <tr><td>200</td><td>0.08</td><td>4.72</td><td>2.36</td><td>12.84</td><td>87.17</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">PAN (%)</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">87.17</td> </tr> </tbody> </table>							Sieve no. (No. Ayakan)	Diameter (mm)	Mass Retained (gr)	Percent Retained (%)	Percent Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)	Remarks	4	4.75	0.51	0.26	0.26	99.75		10	2.00	1.63	0.82	1.07	98.93		18	1.00	2.22	1.11	2.18	97.82		35	0.50	3.36	1.68	3.86	96.14		60	0.25	6.00	3.00	6.86	93.14		100	0.15	7.23	3.62	10.48	89.53		200	0.08	4.72	2.36	12.84	87.17		PAN (%)		87.17																																																						
Sieve no. (No. Ayakan)	Diameter (mm)	Mass Retained (gr)	Percent Retained (%)	Percent Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)	Remarks																																																																																																																	
4	4.75	0.51	0.26	0.26	99.75																																																																																																																		
10	2.00	1.63	0.82	1.07	98.93																																																																																																																		
18	1.00	2.22	1.11	2.18	97.82																																																																																																																		
35	0.50	3.36	1.68	3.86	96.14																																																																																																																		
60	0.25	6.00	3.00	6.86	93.14																																																																																																																		
100	0.15	7.23	3.62	10.48	89.53																																																																																																																		
200	0.08	4.72	2.36	12.84	87.17																																																																																																																		
PAN (%)		87.17																																																																																																																					
RESULT OF HYDROMETER ANALYSIS																																																																																																																							
A : 1.06 (lihat tabel) k : 0.0127 (lihat tabel)		Specific gravity (berat jenis) (G _s) : 2.6299 Percent Passing No.200 : 87.17 % Berat tanah untuk hidrometer : 50 gr																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elapsed time (minute)</th> <th>R 1000 (r-1)</th> <th>Ra 1000 (Ra-1)</th> <th>Temp. T °C</th> <th>R-Ra</th> <th>Zr</th> <th>$\sqrt{\frac{Zr}{t}}$</th> <th>D (mm)</th> <th>N (%)</th> <th>N' (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.25</td><td>44</td><td>-2</td><td>27</td><td>46.00</td><td>4.38</td><td>4.186</td><td>0.0632</td><td>97.52</td><td>85.00</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>43</td><td>-2</td><td>27</td><td>45.00</td><td>4.65</td><td>3.050</td><td>0.0387</td><td>95.40</td><td>83.16</td></tr> <tr><td>1</td><td>42</td><td>-2</td><td>27</td><td>44.00</td><td>4.92</td><td>2.218</td><td>0.0262</td><td>93.28</td><td>81.31</td></tr> <tr><td>2</td><td>40</td><td>-2</td><td>27</td><td>42.00</td><td>5.46</td><td>1.652</td><td>0.0210</td><td>89.04</td><td>77.61</td></tr> <tr><td>5</td><td>36</td><td>-2</td><td>27</td><td>38.00</td><td>6.53</td><td>1.143</td><td>0.0145</td><td>80.56</td><td>70.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>32</td><td>-2</td><td>27</td><td>34.00</td><td>7.60</td><td>0.712</td><td>0.0090</td><td>72.08</td><td>62.83</td></tr> <tr><td>30</td><td>24</td><td>-2</td><td>27</td><td>26.00</td><td>9.75</td><td>0.570</td><td>0.0072</td><td>55.12</td><td>48.05</td></tr> <tr><td>60</td><td>15</td><td>-2</td><td>27</td><td>18.00</td><td>11.90</td><td>0.445</td><td>0.0057</td><td>38.16</td><td>33.26</td></tr> <tr><td>250</td><td>11</td><td>-2</td><td>27</td><td>13.00</td><td>13.24</td><td>0.230</td><td>0.0029</td><td>27.56</td><td>24.02</td></tr> <tr><td>1440</td><td>6</td><td>-2</td><td>27</td><td>8.00</td><td>14.55</td><td>0.101</td><td>0.0013</td><td>15.96</td><td>14.78</td></tr> </tbody> </table>										Elapsed time (minute)	R 1000 (r-1)	Ra 1000 (Ra-1)	Temp. T °C	R-Ra	Zr	$\sqrt{\frac{Zr}{t}}$	D (mm)	N (%)	N' (%)	0.25	44	-2	27	46.00	4.38	4.186	0.0632	97.52	85.00	0.5	43	-2	27	45.00	4.65	3.050	0.0387	95.40	83.16	1	42	-2	27	44.00	4.92	2.218	0.0262	93.28	81.31	2	40	-2	27	42.00	5.46	1.652	0.0210	89.04	77.61	5	36	-2	27	38.00	6.53	1.143	0.0145	80.56	70.22	15	32	-2	27	34.00	7.60	0.712	0.0090	72.08	62.83	30	24	-2	27	26.00	9.75	0.570	0.0072	55.12	48.05	60	15	-2	27	18.00	11.90	0.445	0.0057	38.16	33.26	250	11	-2	27	13.00	13.24	0.230	0.0029	27.56	24.02	1440	6	-2	27	8.00	14.55	0.101	0.0013	15.96	14.78
Elapsed time (minute)	R 1000 (r-1)	Ra 1000 (Ra-1)	Temp. T °C	R-Ra	Zr	$\sqrt{\frac{Zr}{t}}$	D (mm)	N (%)	N' (%)																																																																																																														
0.25	44	-2	27	46.00	4.38	4.186	0.0632	97.52	85.00																																																																																																														
0.5	43	-2	27	45.00	4.65	3.050	0.0387	95.40	83.16																																																																																																														
1	42	-2	27	44.00	4.92	2.218	0.0262	93.28	81.31																																																																																																														
2	40	-2	27	42.00	5.46	1.652	0.0210	89.04	77.61																																																																																																														
5	36	-2	27	38.00	6.53	1.143	0.0145	80.56	70.22																																																																																																														
15	32	-2	27	34.00	7.60	0.712	0.0090	72.08	62.83																																																																																																														
30	24	-2	27	26.00	9.75	0.570	0.0072	55.12	48.05																																																																																																														
60	15	-2	27	18.00	11.90	0.445	0.0057	38.16	33.26																																																																																																														
250	11	-2	27	13.00	13.24	0.230	0.0029	27.56	24.02																																																																																																														
1440	6	-2	27	8.00	14.55	0.101	0.0013	15.96	14.78																																																																																																														
Checked by Engineer Date : 29 Juli 2009 Name and Signature :  Faridansyah				Tested by Technician Date : 29 Juli 2009 Name and Signature :  Dadang & Tatang																																																																																																																			

Gambar 5. Hasil Uji Sampel Sedimen

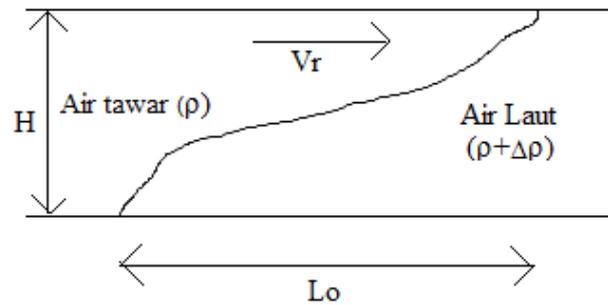
(Sumber: BBWS, 2017)

3. Rencana Penanganan Permasalahan Sungai Banjir Kanal Timur

Adapun permasalahan sedimentasi yang dibahas pada poin dua sebelumnya adalah dampak dari kecepatan aliran yang rendah di hilir sungai. Kecepatan aliran yang rendah tidak mampu untuk menggerakkan sedimentasi ke arah laut. Kecepatan perlu ditingkatkan sampai nilai tertentu agar sedimen tidak sempat mengendap dan terbawa ke arah laut lepas.

Panjang Estuari

Panjang suatu estuari perlu diketahui untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh pasang surut air laut terhadap aliran sungai di muara. Umumnya, suatu panjang estuari dapat diketahui dengan cara mengukur salinitas perairan tersebut (perairan estuari mempunyai salinitas yang lebih rendah dari lautan dan lebih tinggi dari air tawar, berkisar antara 5-25 ppm). Namun, panjang estuari juga dapat ditemukan dengan rumus berikut.



Gambar 6. Panjang Estuari

$$v_{\Delta} = \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho_m} gH}$$

$$v_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{40} \cdot 9,81 \cdot 0,6133}$$

$$= 0,388 \text{ m/s}$$

$$\frac{L_0}{H} = A \left(\frac{v_r}{v_{\Delta}} \right)^{-5/2}$$

$$L_0 = 51,3 \times \left(\frac{0,25}{0,388} \right)^{-5/2} \times 0,6133$$

$$= 94,41 \text{ meter} \approx 100 \text{ meter}$$

Dimana:

v_{Δ} = kecepatan pasang surut

$\Delta\rho/\rho_m$ = selisih berat jenis air asin dan air tawar, paling umum = 1/40

g = Gravitasi (m/s^2)

H = Kedalaman air di sungai (m)

L_0 = Panjang estuari (m)

A = Luas penampang di mulut sungai (m^2)

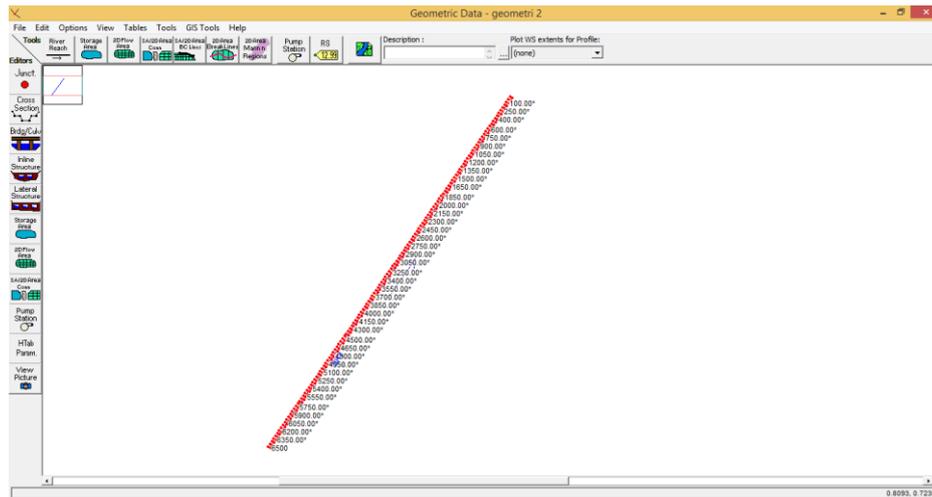
v_r = Kecepatan aliran sungai (m/s)

Analisis Hidraulik Sungai Banjir Kanal Timur (Eksisting) dan Sedimentasi

Adapun analisis kecepatan aliran sungai pada Sungai Banjir Kanal Timur dilakukan dengan menggunakan *software* HEC-RAS 5.0.3. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah serta hasil analisis.

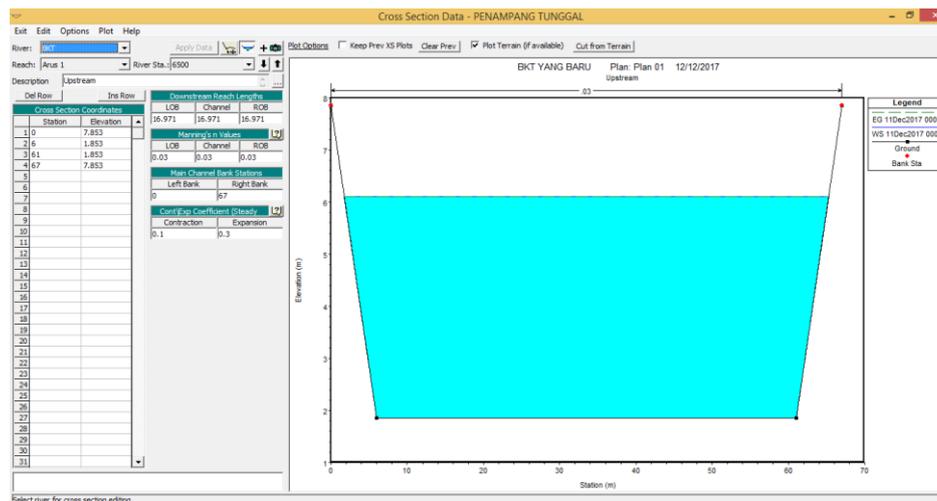
1. Input Data Geometri

Data geometri memanjang Sungai Banjir Kanal Timur berupa panjang sungai dan sketsa tampak atas (*layout*) sungai dimasukkan ke dalam program.



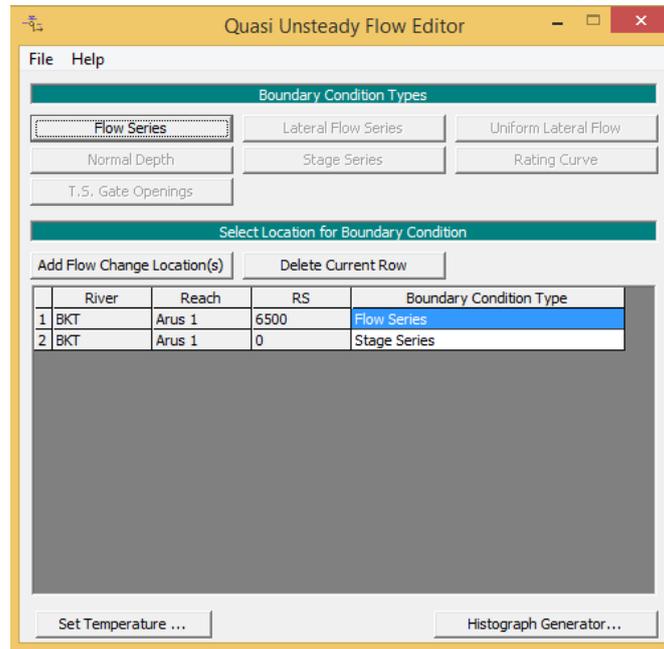
Gambar 7. Layout Sungai BKT

Setelah itu geometri melintang sungai, dimasukkan ke dalam program, seperti pada gambar berikut:



Gambar 8. Geometri Melintang Sungai BKT STA 0 + 6500

2. Input Data *Quasi Unsteady Flow*

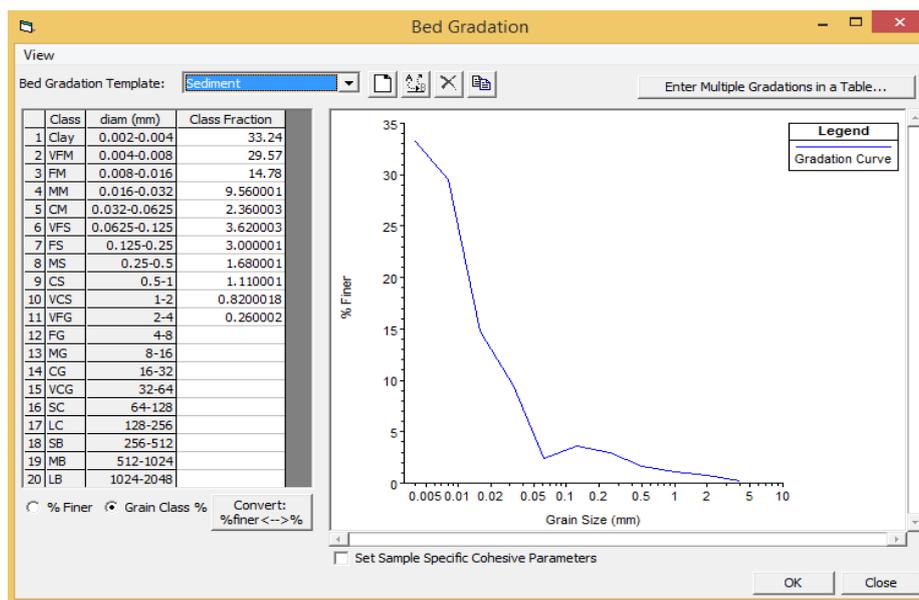


Gambar 9. Input Data Debit Dominan

Pada *window* di atas dimasukkan debit dominan sebesar 79,0025 m³/s. Dimasukkan pula periode *run* untuk analisis sedimentasi yaitu 24 jam. Selain itu data temperatur juga dimasukkan ke dalam data *quasi unsteady flow*.

3. Input Data Sedimen

Data Sedimen yang diinput berupa nilai maksimum kedalaman sungai, stasiun tepi sungai kiri dan kanan, serta data sedimen yang didapat dari *grain size analysis* dan uji hidrometer.

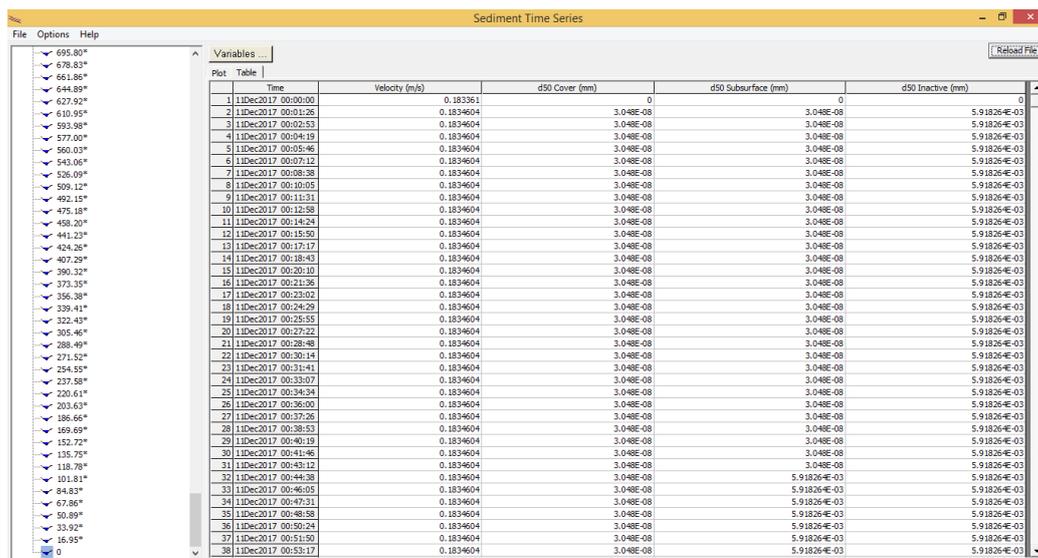


Gambar 10. Input Data *Bed Gradation*

Dari data yang diperoleh dari BBWS Pemali-Juana dapat disimpulkan bahwa jenis sedimen pada Sungai BKT adalah lanau kelempungan.

4. Running Program

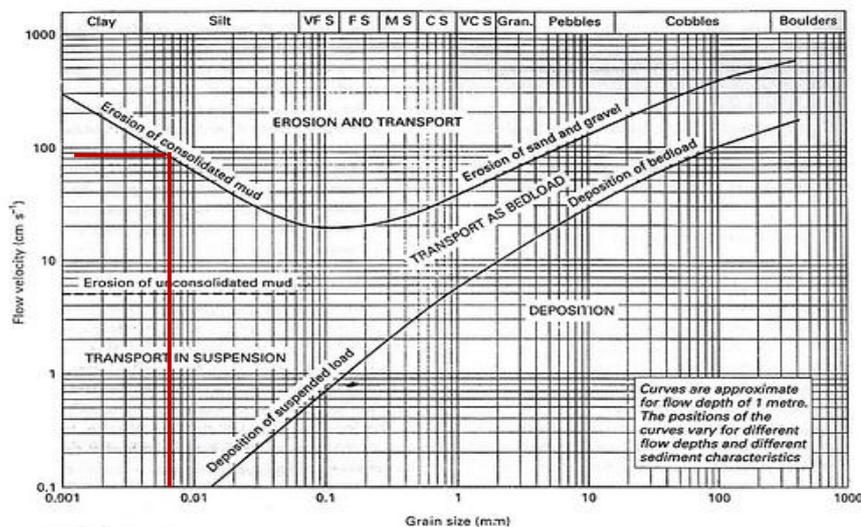
Run pada program dilakukan dengan menggunakan data geometri, data debit dan data sedimentasi yang telah masuk. Setelah run dilakukan maka akan muncul output run yang mengandung banyak variabel hasil dari analisis yang dilakukan. Variabel yang disoroti untuk analisis sedimentasi adalah kecepatan dan diameter butiran.



Gambar 11. Output dari Analisis Sedimentasi

5. Acuan Berupa Grafik Hjulstrom

Dari hasil inputan data sedimen pada software HEC-RAS 5.0.3. diketahui bahwa diameter butiran d_{50} dari sedimen adalah 0,0059 mm.



Gambar 12. Grafik Hjulstrom

Pada grafik di atas diketahui bahwa dibutuhkan kecepatan sebesar 80 cm/s untuk menggerakkan butiran sedimen d_{50} 0,0059 mm. Dari output, diperoleh kecepatan aliran di hilir dengan periode *run* 24 jam adalah 0,18 m/s. Kecepatan tersebut jatuh pada kondisi transisi atau kondisi dimana partikel baru akan mulai bergerak. Kecepatan yang perlu dicapai adalah 0,8 m/s. Oleh karena itu harus dilakukan tindakan penanganan agar mencapai kondisi dimana butiran sedimen dapat bergerak.

Perencanaan Penampang Normalisasi

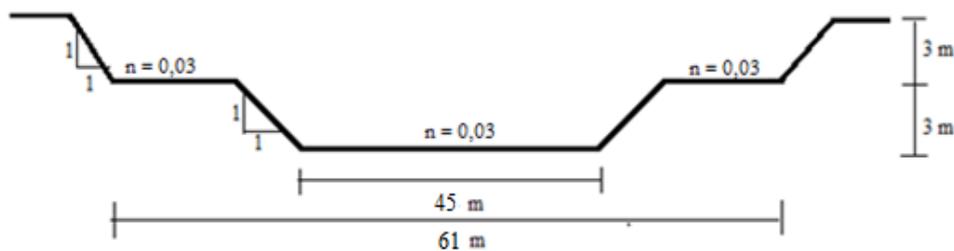
Dalam perencanaan normalisasi Sungai Banjir Kanal Timur harus didasarkan pada pertimbangan teknis maupun non teknis sehingga pelaksanaannya efektif dan efisien baik dari segi kualitas, manfaat dan biaya. Hasil *running* program HEC-RAS 5.0.3 bahwa debit dominan sebesar 79,0025 m³/s akan menghasilkan kecepatan di bagian muara sebesar 0,18 m/s dengan penampang tunggal. Kecepatan ini akan ditingkatkan untuk memperbesar kemungkinan penanganan sedimentasi di muara Sungai Banjir Kanal Timur. Untuk itu, penampang rencana yang semula berbentuk penampang tunggal perlu di desain ulang menjadi penampang ganda yang ideal. Dalam hal ini, penampang ganda yang didesain akan mampu menyalurkan debit banjir ($Q_{50TH} = 372,881$ m³/detik) dan juga menggelontorkan sedimentasi dengan debit dominan ($Q_{dom} = 79,0025$ m³/detik).

Rumus Manning digunakan dalam menghitung dimensi penampang ganda ideal.

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{2}{3}}$$

$$Q = A \times V$$



Gambar 13. Bentuk Potongan Penampang Melintang Saluran Ganda Ideal Pada Daerah Muara

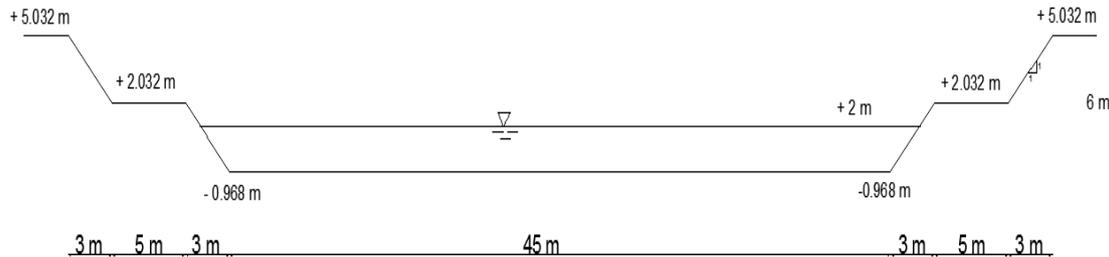
Perencanaan Normalisasi Sungai Banjir Kanal Timur Dengan Krib (Metode Simulasi)

Analisis Penampang Sungai Dengan Krib

Harus dilakukan pengujian bahwa penampang ganda tetap dapat mengalirkan debit dominan dengan kecepatan yang lebih besar dengan kecepatan yang dihasilkan oleh penampang eksisting.

1. Memasukkan Data Geometri yang Baru

Data geometri yang baru diperoleh dengan cara seperti pada subbab sebelumnya. Adapun profil memanjang sungai tidak mengalami perubahan, namun penampang melintang sungai mengalami perubahan. Pada pengujian ini penampang yang akan diuji adalah penampang ganda seperti yang sudah direncanakan pada subbab sebelumnya (Gambar 8).



Gambar 14. Penampang Ganda Hasil Perhitungan

Dari output pada program *HEC-RAS 5.0.3*, diperoleh kecepatan saluran pada hilir sungai adalah 80 cm/s. Kecepatan ini telah memenuhi syarat bagi sedimen d_{50} sebesar 0,0059 mm untuk bergerak

Penginputan Struktur Krib ke Dalam Software HEC-RAS 5.0.3

Penampang ganda ini akan diwujudkan dengan membuat suatu bangunan bernama krib. Bangunan krib ini direncanakan akan dibuat dalam bentuk *sheet pile*, dan akan dibuat pada badan sungai di dekat muara Sungai Banjir Kanal Timur. Adanya krib yang *impermeable* ini kemudian akan menangkap sedimen, dan perlahan akan menjadikan bentuk penampang sungai menjadi bentuk ganda yang semulanya berbentuk penampang tunggal. Maka dari itu panjang dan tinggi krib ini akan dibuat sesuai dengan dimensi penampang ganda yang telah dihitung pada bab sebelumnya.

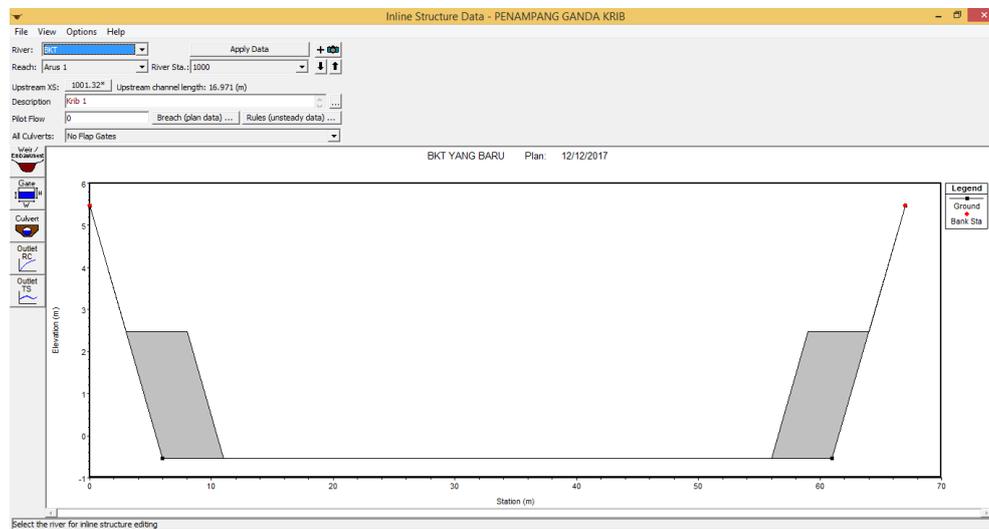
Sesuai dengan dimensi penampang ganda yang telah disajikan pada bab sebelumnya, untuk mewujudkan bentuk ganda dari penampang tunggal, maka panjang krib yang harus dibuat adalah ± 8 meter, dengan ketinggian krib 3 meter. Adapun elevasi dari ketinggian krib berubah dari hulu ke hilir. Elevasi ketinggian krib pada hilir lebih rendah daripada hulu sungai.

Jarak antar krib menurut SNI dapat dibuat dalam rentangan (20 – 30) meter. Jarak yang akan disimulasikan ke dalam *software HEC-RAS 5.0.3*, diambil tiga jarak berbeda dari rentangan yang disyaratkan oleh SNI, yaitu 20 m, 25 m dan 30 m. Ketiga jarak ini akan dimodelkan dengan debit, geometri sungai dan data sedimen yang sama. Adapun bangunan krib akan mulai disimulasikan pada jarak 1000 m dari muara sungai.

Tahapan pemodelan krib pada *software HEC-RAS 5.0.3*, adalah sebagai berikut :

1. Input data geometri.

Pada tahap input geometri inilah krib dimodelkan. Krib akan dimodelkan dengan menginput *inline structure*. Menu *inline structure* dipilih sehingga muncul *window* sebagai berikut.

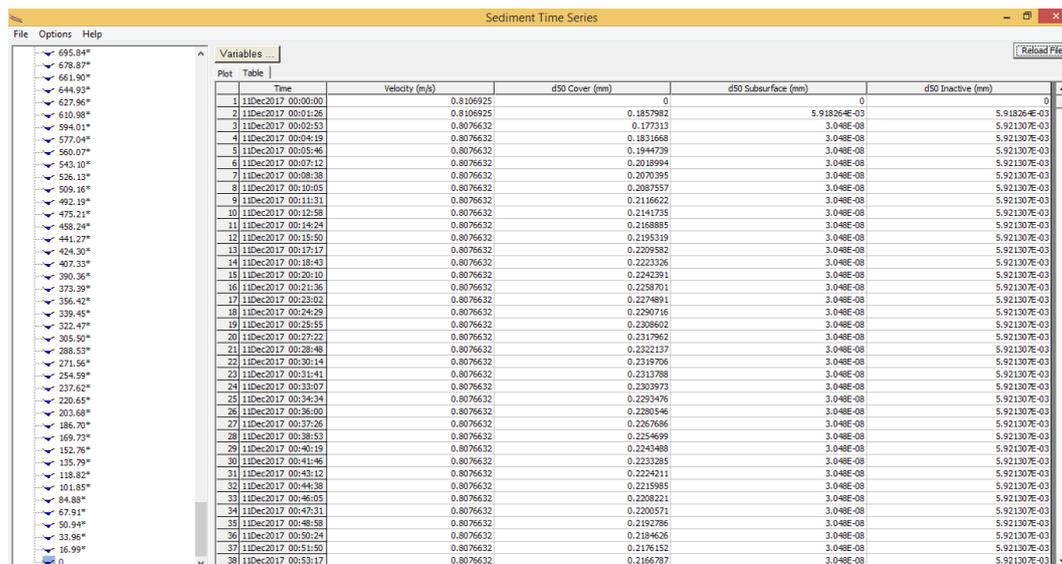


Gambar 15. Proses Input *Inline Structure* Untuk Pemodelan Krib

2. Input data debit pada kondisi *quasi-unsteady flow*.

Langkah ini sama dengan langkah sebelumnya. Langkah berikutnya sebelum melakukan proses *run* adalah memasukkan data sedimentasi, langkah ini sama dengan langkah input data sedimen pada simulasi-simulasi sebelumnya.

3. Langkah terakhir adalah melakukan *run* pada ketiga data di atas.



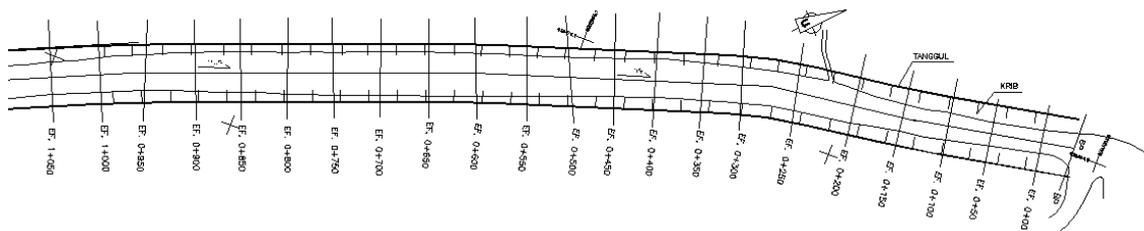
Gambar 16. Output Sedimen Pada *Software* HEC-RAS 5.0.3

Menurut hasil empiris pada percobaan sebelumnya diperoleh bahwa hasil kecepatan untuk jarak krib 20 m, 25 m dan 30 m adalah sama. Sehingga simulasi hanya dilakukan pada krib

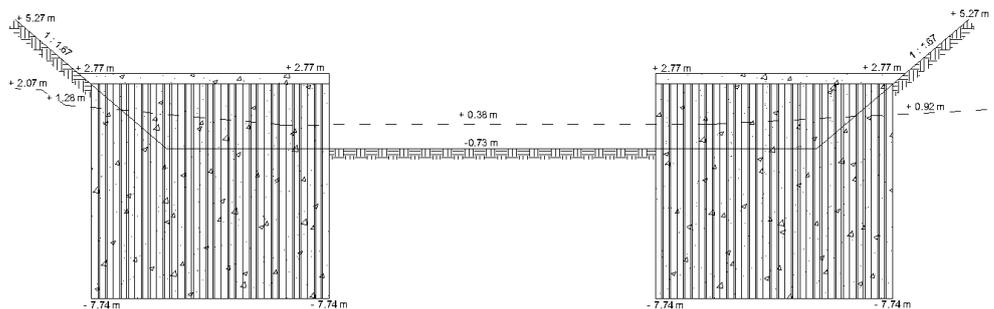
dengan jarak 30 m. Dari output pada program HEC-RAS 5.0.3 (Gambar 16) diperoleh kecepatan saluran pada hilir sungai adalah 80 cm/s, maka sedimen d_{50} dinyatakan dapat tertransportasikan.

Perencanaan Struktur Krib

Penggunaan krib pada sungai akan meningkatkan laju aliran air sungai sehingga mampu meminimalkan pengendapan sedimen di sungai. Krib yang direncanakan adalah krib *impermeabel* dengan menggunakan *sheet pile* beton yang dipasang tegak lurus dengan arah aliran sungai.



Gambar 17. Denah Penempatan Krib Pada Sungai



Gambar 18. Potongan Melintang Sungai Dengan Krib Pada STA 0+550

Dalam merencanakan kedalaman pemancangan krib perlu juga dilakukan pengecekan kedalaman gerusan pada kaki krib, karena ujung krib menahan energi kinetik yang cukup besar sehingga rentan terhadap gerusan lokal.

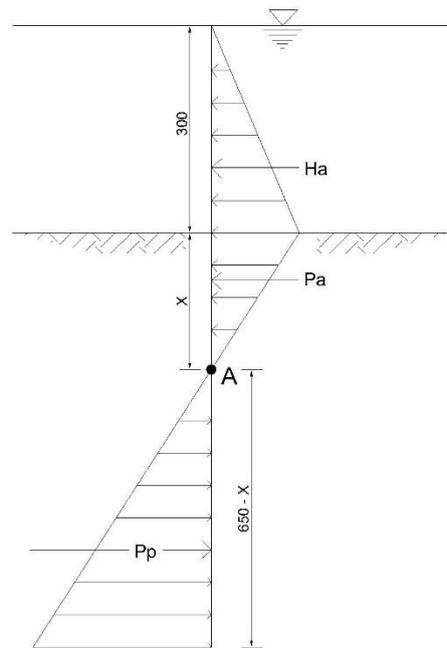
Kedalaman gerusan lokal pada ujung kaki krib dapat dihitung dengan menggunakan metode Farraday & Charlton (1983):

$$Y_2 = 51,4 n^{0,86} (V_1 y_1)^{0,86} \tau c_{50}^{-0,17}$$

$$Y_1 = A_1 / T_1$$

Kedalaman gerusan yang terjadi pada ujung kaki krib adalah 0,471 meter.

Stabilitas krib dihitung untuk mencari daya tahan krib terhadap tekanan tanah aktif dan pasif di bawah dasar sungai dan tekanan yang disebabkan oleh aliran sungai.



Gambar 19. Diagram Tekanan Tanah dan Air Pada Krib

$$\text{Terhadap guling} = \frac{MPa}{MHa + Pp} = \frac{582874,423}{4500 + 3088,577} = 8 \geq 1,5 \text{ (OK !)}$$

$$\text{Terhadap geser} = \frac{\sum P \times \mu_s}{Ha} = \frac{(49378,758 - 597,74) \times 0,3}{4500} = 3,25 \geq 1,5 \text{ (OK !)}$$

Dari perhitungan di atas, krib mampu menahan gaya tekanan air yang diberikan oleh aliran Sungai Banjir Kanal Timur dan tidak akan rubuh karena momen guling maupun gaya geser oleh tanah.

Perencanaan Proyek Pembangunan Krib Muara Sungai Banjir Kanal Timur

Berikut akan disajikan beberapa poin penting seputar perencanaan perbaikan muara Sungai Banjir Kanal Timur:

1. Nama proyek ini adalah “Proyek Pemasangan Krib di Muara Sungai Banjir Kanal Timur”.
Lokasi proyek terletak di Kecamatan Gayamsari, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah.
2. Lingkup pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam proyek ini adalah pemasangan krib sepanjang 1 kilometer dihitung dari muara Sungai Banjir Kanal Timur. Lebih lanjut tentang pembangunan ini akan diuraikan dalam bagian syarat-syarat teknis.
3. Metode pelaksanaan proyek ini terdiri dari tiga tahap utama: pekerjaan persiapan, pekerjaan pemancangan dan pekerjaan penutup. Pekerjaan pemancangan direncanakan

akan menggunakan *vibro hammer* dan jenis *sheet pile* yang digunakan adalah *corrugated prestressed concrete sheet pile* tipe W350 dari PT Wika Beton, dengan produktivitas produksi adalah 8 *sheet pile*/hari.

4. Jenis kontrak pada proyek ini adalah kontrak gabungan *lump sum* dan harga satuan.
5. Adapun waktu pengerjaan proyek ini adalah 150 hari kerja, yaitu dari 15 Januari 2018 sampai 10 Agustus 2018.

KESIMPULAN

Dari hasil analisa penambahan krib pada sungai ternyata didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sedimentasi pada sungai dapat terjadi akibat erosi di hulu sungai yang kemudian membawa material yang terendapkan di hilir.
2. Permasalahan sedimentasi ini dapat ditangani dengan membuat suatu bangunan yang sesuai. Adapun jenis sedimentasi di muara Sungai Banjir Kanal Timur adalah *clay* sehingga bangunan yang dipilih adalah krib.
3. Pemasangan krib *impermeable* akan menangkap sedimen dan secara berangsur-angsur mempersempit penampang pada muara sungai yang menyebabkan kenaikan kecepatan aliran.
4. Pemasangan krib berjarak 30 meter menaikkan kecepatan dari 0,18 m/s sampai ke 0,8 m/s. Kenaikan kecepatan ini dapat menggelontor sedimen menurut grafik *hjulstrom*.
5. Krib yang dipasang adalah *corrugated concrete sheet pile* dengan tipe W 350 B, dan mutu beton K700. *Sheet piles* dipasang dengan cara dipancang.
6. Estimasi biaya total dari perencanaan Krib Muara Sungai Banjir Kanal Timur mencapai ± Rp 19.652.444.354.

SARAN

1. Pemilihan bangunan untuk menangani permasalahan sedimentasi di muara sungai, harus didasarkan pada jenis sedimentasi di muara sungai itu sendiri.
2. Pemilihan jenis krib pada muara sungai harus diperhatikan. Jika jenis krib merupakan jenis *impermeable*, harus dilakukan simulasi debit banjir pada penampang ingin diwujudkan. Harus dipastikan bahwa saat terjadi debit banjir, penampang dengan krib tersebut tetap dapat mengakomodasi debit banjir tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries Dwi Siswanto. 2010. *Analisa Sebaran Total Suspended Solid (TSS) di Perairan Pantai Kabupaten Bangkalan Pasca Jembatan Suramadu*. Jurnal Kelautan Vol. 3 No.2 Oktober 2010, Hal. 91-96.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Tata Cara Perencanaan Krib di Sungai – Bagian 1 : Perencanaan Umum*. Standard Nasional Indonesia.
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali – Juana. 2016. *Draft Final Report. Main Report. Master Plan and Feasibility Study Report on Flood Control*. Semarang.
- Daryumi, dkk. 2016. *Komposisi dan Distribusi Spasial Larva Ikan Ekonomis Penting di Perairan Estuari Banjir Kanal Timur Kota Semarang*. Jurnal Kelautan Vol.5 No.3 Tahun 2016, Hal. 91-97
- Fadilah, Suripin, dan Dwi P Sasongko. 2013. *Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty*. <http://ejournal.unsri.ac.id/index.php/maspari/article/download>
- Gregory L. Morris dan Jiahua Fan. 1997. *Reservoir Sedimentation Hand Book*. New York : Mc Graw Hill.
- Irigasi Pasang Surut/Rawa, Bahan Ajar Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, 2017
- Kodoatie, Robert J. dan Sugiyanto. 2002. *Banjir, Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Leopold, Luna B, 1994. *A View Of The River*. United States of America : Harvard University Press.
- Prasetyo, Dani., Very Dermawan. 2015. *Kajian Penanganan Sedimentasi Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang*. Jurnal Teknik Pengairan Vol. 6 No.1 Mei 2015, Hal. 76 – 87.
- Pusat Studi Bencana LPPM. 2017. *Modul HEC-RAS*. Semarang : Universitas Diponegoro.