

PENGARUH STRUKTUR BANGUNAN KRIB TERHADAP SEDIMENTASI DAN EROSI DI SEKITAR KRIB DI SUNGAI

Bambang Sujatmoko¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, email : b_sujatmoko@yahoo.com

ABSTRAK

Besarnya kecepatan yang akan melewati satu seri rangkaian bangunan krib dipengaruhi oleh formasi pemasangan rangkaian krib. Setiap desain bentuk, type ataupun tata letak (*lay-out*) satu seri bangunan krib akan memberikan dampak yang berbeda terhadap proses sedimentasi dan erosi yang terjadi di sekitarnya. Untuk melihat pengaruh krib terhadap proses sedimentasi dan erosi, dilakukan dengan simulasi matematis aliran dua dimensi model RMA2 dan simulasi perubahan angkutan sedimen SED2D. Kalibrasi model RMA2 dilakukan dengan menentukan penyimpangan RMS (*root-mean-square*) antara ratio kecepatan saluran dengan kecepatan rerata (U/U_m) model fisik dan U/U_m model matematis, dan kalibrasi model SED2D dilakukan dengan menentukan penyimpangan besar gerusan antara model fisik dan matematis. Data pengukuran kalibrasi model menggunakan data penelitian Yeo Hong Koo (2006). Konfigurasi krib yang disimulasi terdiri dari 3 variasi panjang (L/B), 3 variasi jarak pemasangan (L/l) dan 4 variasi permeabilitas krib (p_k). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model RMA2 yang digunakan cukup memadai untuk mensimulasi aliran di sekitar krib, dimana rasio antara RMS U/U_m kedua model dengan rerata U/U_m yang dihasilkan $< 5\%$, sedang model SED2D kurang memadai dalam mensimulasi perubahan dasar dimana ratio penyimpangan kedua model mendekati nilai 30%. Semakin banyak jumlah krib dipasang pada tepi sungai, maka daerah gerusan pada krib di bagian hulu semakin berkurang. Perubahan daerah gerusan untuk krib di bagian hulu pada variasi jarak yang sama cenderung semakin berkurang seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib. Hasil simulasi pada panjang krib dan jarak krib yang sama, menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu berkurangnya ratio gerusan maksimum dengan gerusan maksimum awal (S_{max}/S_{max0}) di sekitar krib seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib. Ratio kedalaman gerusan yang paling kecil terjadi pada saat permeabilitas krib 60% yaitu 0,12-0,19 kali gerusan maksimum awal (S_{max0}), sesuai dengan perubahan jarak kribnya.

Kata Kunci : konfigurasi krib, sedimentasi, gerusan maksimum, model matematis

1. PENDAHULUAN

Pola dinamika aliran yang terjadi di sungai dapat menyebabkan kelongsoran tebing sungai, terutama pada daerah-daerah tebing terbuka yang langsung menerima serangan (*attack*) arus sungai [6]. Fenomena kelongsoran tebing sungai yang terjadi tersebut dapat diminimalkan dengan usaha rekayasa alur sungai terhadap pola arus sungai dengan cara memasang satu rangkaian bangunan pelindung yang disebut dengan krib (*groyne*).

Di samping memberikan dampak positif berupa pembentukan tebing baru di pangkal krib (proses sedimentasi), pemasangan satu seri bangunan krib memberikan dampak negatif berupa erosi atau gerusan lokal (*local scouring*). Besarnya kecepatan yang akan melewati satu seri rangkaian bangunan krib dipengaruhi oleh formasi pemasangan rangkaian krib [5],[2]. Formasi krib meliputi : panjang, jarak dan arah pemasangan [4]. Ada 4 type bangunan krib yang dapat disusun seri yaitu : (i) bangunan krib standar, (ii) krib dengan bagian kepala krib yang landai, (iii) krib tidak kedap air dengan susunan

tiang pancang dan (iv) gabungan krib kedap dan tidak kedap air yang terdiri dari bagian bawah krib kedap air dan bagian atas susunan tiang pancang. Setiap desain bentuk, type ataupun tata letak (*lay-out*) satu seri bangunan krib akan memberikan dampak yang berbeda terhadap proses sedimentasi yang terjadi di sekitarnya, sehingga perlu dilakukan simulasi untuk mendapatkan desain alternatif yang efektif secara fisik, ekonomi dan ekologi untuk standard bangunan krib yang dibangun di sungai.

Menurut Przedwojski [4], dalam menentukan dimensi krib, yaitu menyangkut penentuan panjang, jarak, arah, jumlah krib dalam satu seri, terdapat berbagai metode yang hampir semuanya bersifat empiris.

Model Matematis Aliran Dua Dimensi

Salah satu modul perangkat lunak BOSS SMS (*Surface water Modeling System*) yaitu RMA2 versi 4.35, merupakan model matematis untuk menghitung proses hidrodinamika aliran dua dimensi pada rerata kedalaman (*depth average*). Perangkat lunak SMS merupakan *post* dan *pre-processing unit*, sedangkan RMA2 merupakan *running execution program* [1].

Model matematis RMA2. Persamaan yang menggambarkan aliran di sungai, estuari dan badan air yang lain didasarkan pada konsep klasik konservasi massa dan momentum. Persamaan aliran 2-D horizontal (*depth averaged*) diturunkan dengan mengintegrasikan persamaan tiga dimensi transport massa dan momentum terhadap koordinat vertikal dari dasar sampai ke permukaan air, dengan asumsi bahwa kecepatan dan percepatan vertikal diabaikan. Persamaan kontinuitas dan momentum arah sumbu x dan y untuk aliran dua dimensi rata-rata kedalaman dapat dituliskan sebagai berikut [1]:

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{\left(1.486h^{1/6} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2h \omega v \sin \phi = 0 \quad \dots \quad (1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{\left(1.486h^{1/6} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi + 2h \omega v \sin \phi = 0 \quad \dots \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad \dots \quad (3)$$

dengan : h adalah kedalaman; u, v adalah kecepatan pada arah sumbu x dan y; x, y, t adalah koordinat *cartesian* dan waktu; ρ adalah rapat massa zat cair; g = percepatan gravitasi; E = koefisien *Eddy Viscositas*; a = elevasi dasar; n = nilai kekasaran *Manning*; ζ = koefisien gesekan angin; V_a, ψ = kecepatan angin dan arah angin; ω, ϕ = tingkat rotasi angular bumi, dan *latitude* lokal.

Diskritisasi Model. RMA2 *software* menggunakan metode elemen hingga Galerkin dalam menyelesaikan sistem pembentuk persamaan differensial, yang diawali dengan prosedur diskretisasi, yaitu membagi daerah penyelesaian (domain komputasi) menjadi sejumlah sub-sub domain yang lebih kecil, yang dinamakan elemen. Pada penelitian ini, diskretisasi model menggunakan elemen gabungan segitiga 6 simpul (*six-node triangles*) dan segiempat 8 simpul (*eight-node quadrilateral*).

Model Matematis Perubahan Dasar Sungai

Formulasi numeris dari proses perubahan dasar sungai akan melibatkan persamaan aliran, persamaan angkutan sedimen dan persamaan konservasi massa dasar sungai. Pada penelitian ini lingkup pembahasan dibatasi untuk aliran dua dimensi horisontal, angkutan sedimen pada dasar saja dan material berupa butiran lepas (tak kohesif).

Model Matematis SED2D. SED2D *software* menganalisis dua kategori sedimen yaitu, sedimen non kohesif (pasir) dan sedimen kohesif (tanah liat). Model matematis ini hanya menelaah satu ukuran butir efektif (*effective grain size*) dari tiap-tiap *runningnya*, sehingga diperlukan suatu *model run* sendiri-sendiri untuk tiap-tiap ukuran butir efektif. Untuk menghitung konsentrasi sedimen yang tersuspensi menggunakan persamaan *konveksi-difusi* yang dilengkapi dengan sebuah *bed source term*, dapat dilihat pada persamaan berikut [1] :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2 \dots \dots \dots (4)$$

dengan : C adalah konsentrasi; T = waktu; U, V = kecepatan aliran arah x , dan y ; x, y adalah aliran arah primer, dan arah aliran tegak lurus terhadap x ; D_x, D_y = koefisien difusi efektif arah x , dan y ; α_1, α_2 = koefisien dan porsi konsentrasi seimbang untuk *source term*;

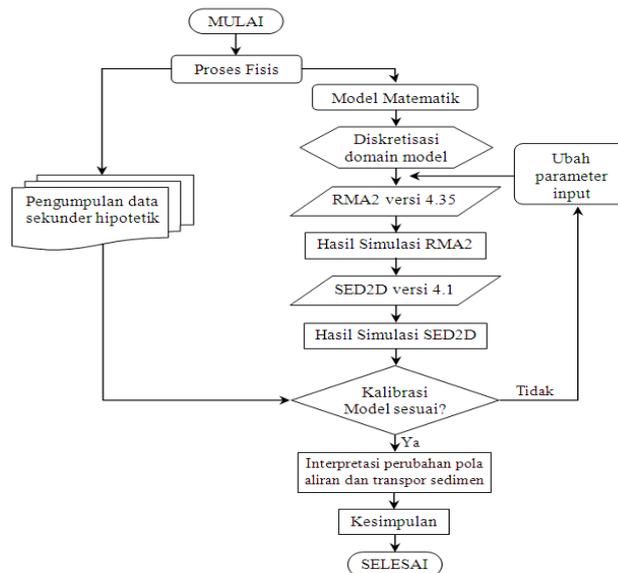
Program SED2D ini, digunakan untuk pemecahan masalah transpor sedimen yang didiskripsikan sebagai transpor *unsteady* dan tersuspensi, dalam dua dimensi horisontal yang ada interaksi dengan perubahan dasarnya. Program ini tidak menghitung elevasi-elevasi permukaan air dan dinamika aliran, karena data ini harus disediakan melalui penghitungan eksternal yaitu data hasil hitungan model RMA2 berupa *file*.sol*.

2. METODE DAN BAHAN

Bahan Penelitian. Untuk kebutuhan pemodelan dibutuhkan saluran, yang merupakan sungai hipotetik yang dapat menggambarkan fenomena hidrolika aliran sungai serta geometrik elevasi dasar saluran. Karena keterbatasan peralatan yang tersedia di Laboratorium FT UNRI, sebagian besar bahan penelitian ini menggunakan data sekunder yang sudah terverifikasi terutama data parameter aliran dan parameter saluran, yang diambil dari penelitian Yeo Hong Koo [3].

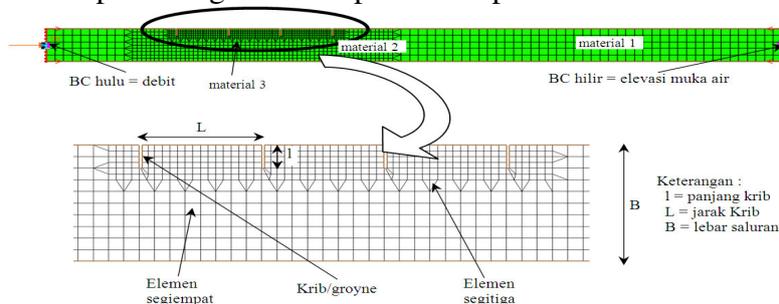
Peralatan yang digunakan. Model matematis 2-DH yang digunakan merupakan produk BOSS International yang dikenal dengan nama *Surface water Modeling System (SMS)*. Penelitian ini ditujukan pada perubahan perubahan dasar saluran ke arah dua dimensi horizontal atau arah melebar saluran (2-DH), sehingga diperlukan 2 program eksekusi yaitu modul RMA2 versi 4.35 dan modul SED2D versi 4.1.

Prosedur Pelaksanaan Penelitian. Penelitian ini merupakan studi eksperimental dikombinasi dengan bantuan model matematis aliran dan sedimen yang menitik-beratkan pada pola sedimentasi dan gerusan di sekitar krib. Krib yang disimulasi merupakan satu seri rangkaian krib dengan jumlah 4 buah. Panjang krib (l) ditetapkan 0,20 kali lebar saluran (B). Variasi formasi krib untuk masing-masing type krib (standard dan permeabel) dilakukan terhadap : jarak antar krib (L), permeabilitas krib (pk), arah pemasangan krib terhadap aliran ($Dk=90^0$). Masing-masing variasi simulasi dibuat 3 variasi. Variasi jarak antar krib (L/l) = 4, 6, dan 8; variasi permeabilitas krib (pk) = 0%, 20%, 40% dan 60%. Langkah penelitian untuk memperkirakan perubahan bentuk dasar dengan menggunakan model matematis 2-DH disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1: Prosedur penelitian

Diskritisasi Model Matematis. Model saluran simulasi merupakan saluran hipotetik lurus sepanjang 1000 m, dengan dasar saluran datar ($slope=0$), lebar saluran 100 m. Model krib adalah krib tegak pada satu sisi tebing saluran dengan panjang dan jarak yang sudah ditentukan. Diskretisasi model dilakukan dengan membuat elemen segiempat pada bagian hulu dan hilir model, sedang pada bagian yang ada kribnya, elemen dikesalkan dengan maksud agar hasil simulasi lebih detail. Diskretisasi model saluran beserta letak pemasangan krib dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Diskretisasi model saluran dan krib

Kalibrasi Model. Agar hasil simulasi RMA2 dan SED2D mendekati hasil pengukuran pada simulasi aliran di saluran hipotetik model sungai di lab, maka diperlukan suatu proses kalibrasi terhadap parameter aliran maupun karakteristik sedimennya. Untuk

mendapatkan suatu hasil simulasi model matematis yang mendekati simulasi model fisik hipotetik, diperlukan suatu perubahan-perubahan dalam input parameter *Eddy viscosity* (E) dan kekasaran dasar (n). Kedua parameter ini akan saling mempengaruhi dalam hasil suatu simulasi dalam usaha mendapatkan nilai yang sesuai antara keduanya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Masukan Pada Model

Pada penelitian ini, data masukan pada model, baik model aliran maupun model perubahan dasar saluran, merupakan data yang sudah melalui proses kalibrasi. Kondisi material dasar untuk model aliran yaitu koefisien kekasaran Manning, n dan koefisien turbulensi, E (*Eddy viscosity*). Nilai n dan E ini diperoleh dari hasil kalibrasi simulasi model RMA2 dengan data pengukuran model fisik. Sesuai dengan acuan yang ada dan hasil kalibrasi model, diperoleh nilai seperti tertera pada Tabel 1. :

Tabel 1: Nilai parameter hitungan yang sudah dikalibrasi

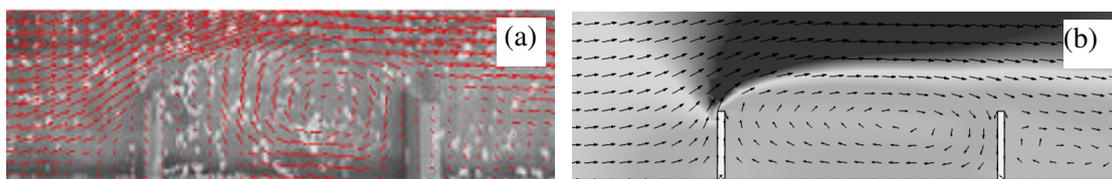
No	Parameter	Material 1 ^{*)}	Material 2	Material 3
1	n	0,035	0,025	0,020
2	E (m^2/det)	1000	1000	500

^{*)} penetapan material 1, 2, 3 lihat Gambar 2

Data masukan kondisi batas hulu ditetapkan debit aliran tetap representatif sebesar 300 m^3/det dan kondisi batas hilir berupa elevasi muka air rata-rata sebesar 3 meter. Kondisi batas untuk model perubahan dasar (SED2D) di bagian hulu diambil berat jenis = 2,65 gr/cm^3 ; kekasarannya = 2,1; diameter butir rata-rata 0,5 mm, difusi sedimen seragam arah x , y sebesar 50 m^2/det , kecepatan endap butiran $1,0 \times 10^{-5}$ m/det .

Kalibrasi Model

Kalibrasi Model Arus (RMA2). Kalibrasi terhadap model matematis aliran RMA2 dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Kalibrasi kualitatif dilakukan dengan mencocokkan fenomena pola aliran yang terjadi di sekitar krib antara model matematis dan model fisik. Pola aliran yang spesifik di sekitar krib adalah adanya pusaran air di antara krib yang dipasang. Sedangkan kalibrasi kuantitatif dilakukan dengan membandingkan nilai kecepatan yang terjadi pada model matematis dan model fisik dengan suatu besaran yang dinamakan *root-mean-square* (RMS). Nilai kecepatan yang dibandingkan diambil pada daerah diantara dua buah krib. Hasil kalibrasi kualitatif dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan hasil kalibrasi kuantitatif dapat dilihat pada Gambar 4 dan nilai penyimpangan antara kedua model ditunjukkan pada Tabel 2.

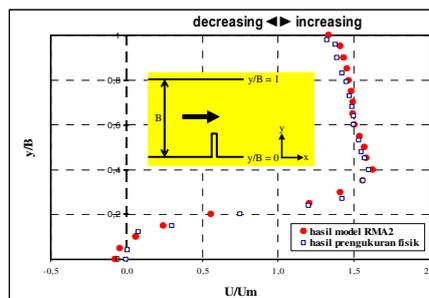


Gambar 3: Hasil Kalibrasi pola aliran secara Kualitatif
 (a) data hasil pengukuran [3]; (b) hasil simulasi model RMA2

Tabel 2: Nilai RMS antara model RMA2 dengan data pengukuran

Posisi Pengukuran, y/B	Nilai U/Um	Error (RMS)
------------------------	------------	-------------

	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran	
1	1,335	1,32	0,00024
0,95	1,410	1,38	0,00092
0,9	1,432	1,39	0,00173
0,85	1,453	1,42	0,00109
0,8	1,464	1,45	0,00019
0,75	1,485	1,47	0,00023
0,7	1,496	1,49	0,00003
0,65	1,496	1,5	0,00002
0,6	1,506	1,5	0,00004
0,55	1,538	1,53	0,00007
0,5	1,571	1,55	0,00042
0,45	1,581	1,57	0,00013
0,4	1,624	1,6	0,00057
0,35	1,560	1,56	0,00000
0,3	1,410	1,42	0,00009
0,25	1,207	1,2	0,00005
0,2	0,556	0,75	0,03781
0,15	0,244	0,3	0,00318
0,1	0,064	0,08	0,00025
0,05	-0,043	0,005	0,00228
0	-0,075	-0,005	0,00487
		RMS =	0,05081
Nilai U/Um rata-rata =	1,158		
Nilai RMS dibandingkan U/Um rata-rata =		4,388 %	< 5%

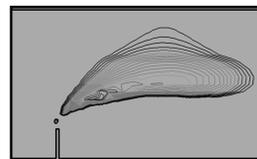


Gambar 4: Hasil kalibrasi kecepatan di sekitar krib

Kalibrasi Model Angkutan Sedimen (SED2D). Kalibrasi model angkutan sedimen SED2D dilakukan secara kualitatif maupun secara kuantitatif. Kalibrasi kualitatif dilakukan dengan mencocokkan pola daerah gerusan yang terjadi di sekitar krib antara model matematis dan model fisik. Sedangkan kalibrasi kuantitatif dilakukan dengan membandingkan gerusan maksimum yang terjadi pada model numeris dan model fisik. Kalibrasi dilakukan terhadap krib tunggal pada kondisi kedap air dan lolos air. Hasil kalibrasi kualitatif dapat dilihat pada Gambar 5, sedangkan hasil kalibrasi kuantitatif dan nilai penyimpangan antara kedua model ditunjukkan pada Tabel 3.



(a) $pk=0\%$



(b) $pk=0\%$

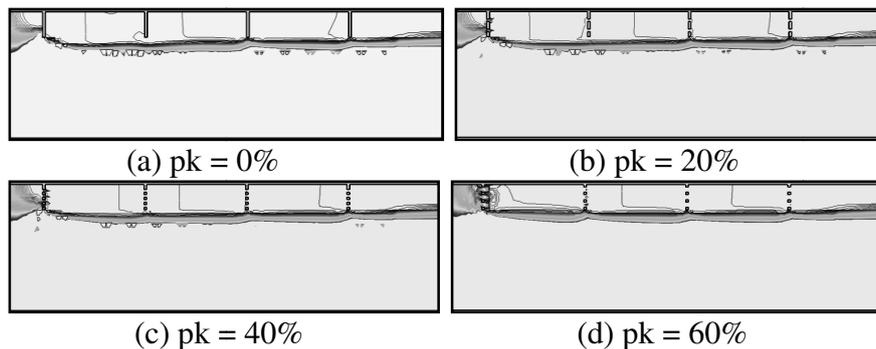
Gambar 5: Hasil Kalibrasi model SED2D (a) pengukuran [3]; (b) simulasi model

Tabel 3: Penyimpangan besaran model fisik dan model SED2D

pk (%)	Smax (cm)		Smax/Smax0		Penyimpangan (%)
	model fisik	model SED2D	model fisik	model SED2D	
0	12,95	20,9	1,00	1,00	61,4
20	10,55	9,9	0,81	0,47	6,2
40	6,45	4,5	0,50	0,22	30,2
60	4,6	3,6	0,36	0,17	21,7
Rata-rata					29,9

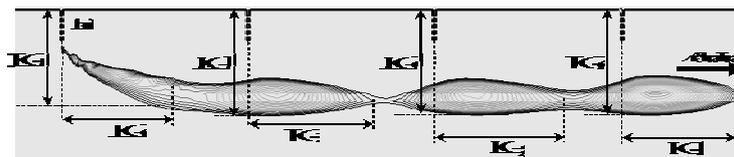
Pengaruh Pemasangan Krib terhadap Perubahan dasar saluran

Pola sedimentasi pada satu seri pemasangan krib. Hasil simulasi SED2D (Gambar 6) menunjukkan bahwa pola sedimentasi terjadi akibat adanya perubahan kecepatan terutama perubahan kecepatan yang terjadi di antara dua bangunan krib dimana terjadi penurunan kecepatan dan adanya pusaran air akibat perubahan tersebut. Perubahan kecepatan antara bangunan krib menyebabkan kecepatan untuk mengangkut material/ butiran sedimen menjadi lebih kecil daripada kecepatan minimum angkutan butiran, sehingga butiran sedimen tertinggal di lokasi tersebut. Hasil simulasi menunjukkan pola yang hampir sama untuk semua variasi pemasangan krib. Hal ini kemungkinan besar disebabkan singkatnya waktu untuk melakukan proses angkutan sedimen (waktu simulasi SED2D), sehingga proses sedimentasi yang terjadi belum mencapai kondisi setimbang (*equilibrium*).

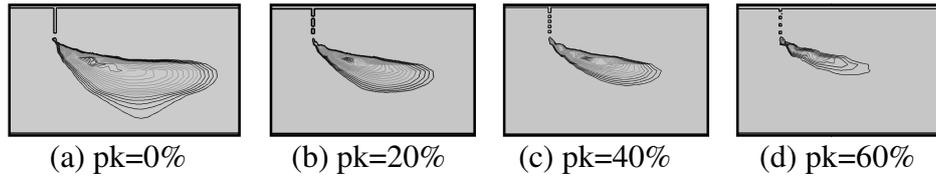


Gambar 6. Pola Sedimentasi di antara bangunan Krib

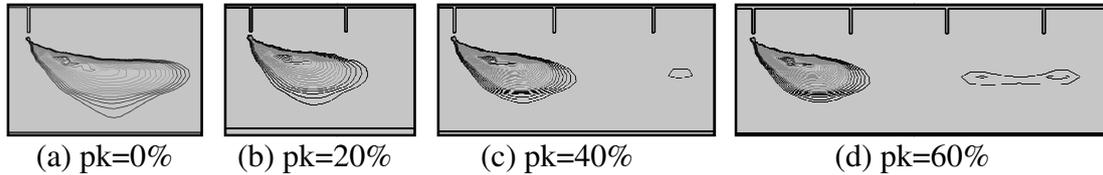
Pola gerusan pada satu seri pemasangan krib. Istilah-istilah yang diberikan dalam Gambar 7 dipakai untuk memudahkan analisa gerusan di sekitar satu seri krib. Hasil simulasi SED2D dapat menunjukkan pengaruh pemasangan satu seri krib terhadap gerusan yang terjadi di daerah krib, baik pada kondisi krib kedap air (pk=0%) dan krib lolos air pada berbagai variasi permeabilitas (20%, 40% dan 60%). Secara visual, perubahan daerah gerusan yang terjadi ditunjukkan oleh Gambar 8 s.d Gambar 10.



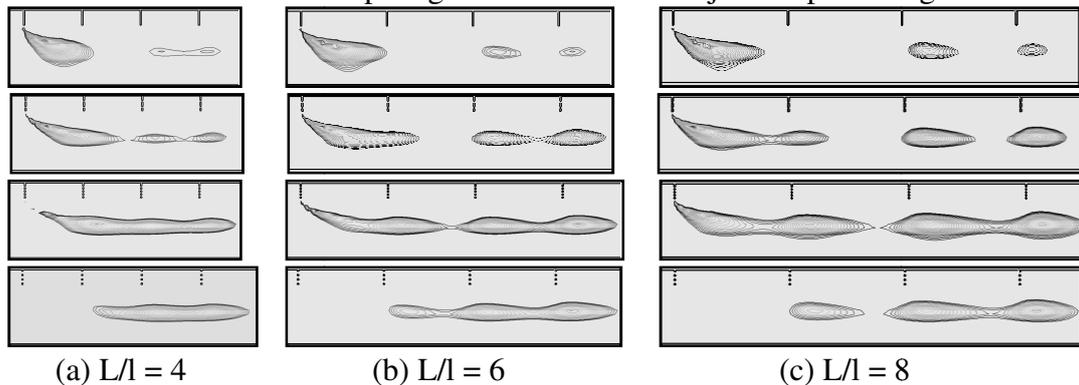
Gambar 7. Daerah gerusan oleh di sekitar satu seri krib



Gambar 8: Perubahan pola gerusan akibat krib tunggal



Gambar 9: Perubahan pola gerusan akibat jumlah pemasangan krib

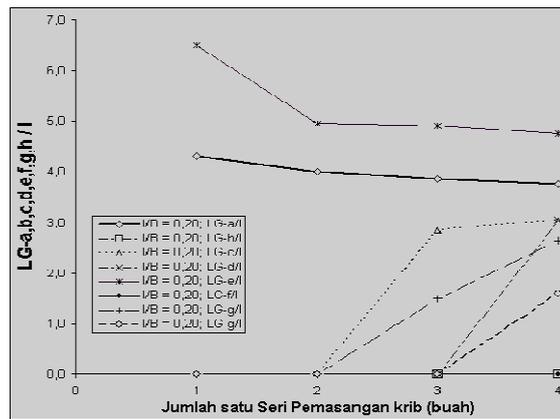


Gambar 10: Perubahan pola gerusan akibat variasi jarak dan permeabilitas krib.

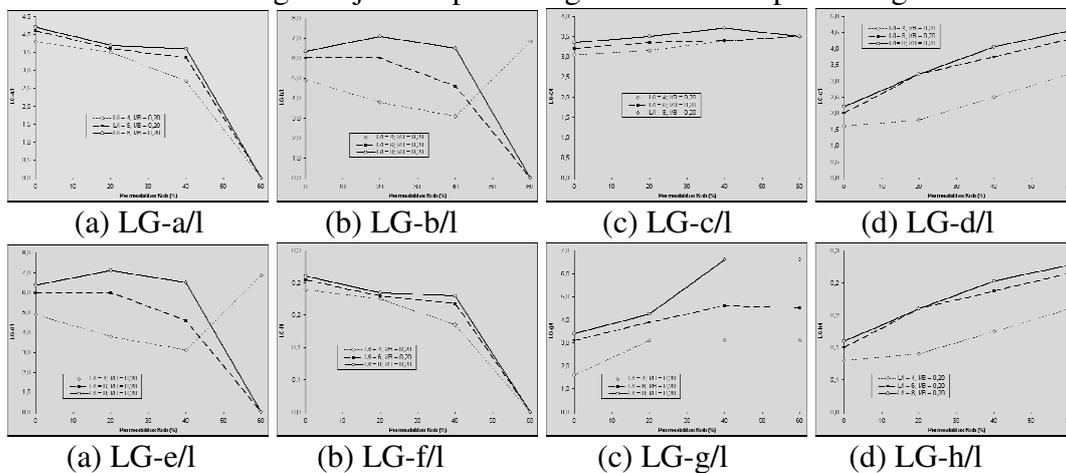
Perubahan besaran kuantitatif gerusan yang terjadi dianalisa dengan melakukan analisa parameter tak berdimensi antara besar gerusan max awal dengan gerusan yang terjadi akibat adanya variasi krib (S_{max}/S_{max0}) dan beberapa parameter tak berdimensi lain sebagai parameter variabel ditunjukkan pada Tabel 4. Pengaruh variasi pemasangan satu seri bangunan krib terhadap perubahan daerah gerusan dalam bentuk grafik disajikan dalam Gambar 11 s.d Gambar 12, sedang pengaruhnya terhadap kedalaman gerusan disajikan pada Gambar 13.

Tabel 4. Perubahan kedalaman gerusan akibat variasi pemasangan satu seri krib

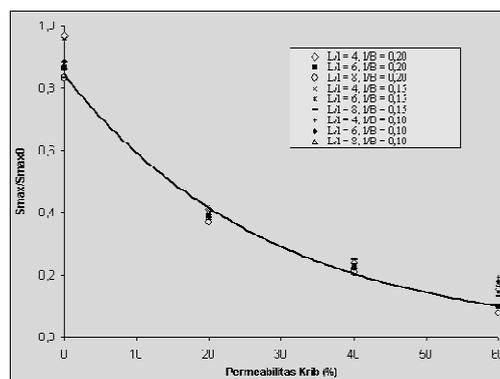
Variasi permeabilitas krib, (pk)	Variasi Jarak Krib, (L/l)	Variasi Panjang Krib, (l/B)					
		0,20		0,15		0,10	
		S_{max}	S_{max}/S_{max0}	S_{max}	S_{max}/S_{max0}	S_{max}	S_{max}/S_{max0}
0%	4	20,26	0,97	10,57	0,96	4,87	0,95
20%	4	8,58	0,41	4,46	0,41	2,01	0,39
40%	4	4,99	0,24	2,55	0,23	1,17	0,23
60%	4	3,23	0,15	1,94	0,18	0,98	0,19
0%	6	18,04	0,86	9,55	0,87	4,52	0,89
20%	6	8,11	0,39	4,28	0,39	2	0,39
40%	6	4,54	0,22	2,52	0,23	1,13	0,22
60%	6	2,72	0,13	1,58	0,14	0,92	0,18
0%	8	17,4	0,83	9,16	0,83	4,45	0,87
20%	8	7,73	0,37	4,22	0,38	1,97	0,39
40%	8	4,35	0,21	2,76	0,25	1,16	0,23
60%	8	2,43	0,12	1,44	0,13	0,89	0,17



Gambar 4.11. Pengaruh jumlah pemasangan krib terhadap daerah gerusan krib



Gambar 12. Pengaruh pemasangan satu seri krib terhadap daerah gerusan krib



Gambar 13. Perubahan kedalaman gerusan akibat pemasangan satu seri krib

Pada pengamatan pengaruh pemasangan satu seri rangkaian krib (Gambar 12) yang merupakan variable jarak (L/I) dan permeabilitas (pk), menunjukkan bahwa perubahan daerah gerusan untuk krib di bagian hulu (2 krib pertama) pada variasi jarak yang sama (LG-a, LG-b, LG-e dan LG-f) cenderung semakin berkurang seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib. Sedangkan untuk krib di bagian hilir (2 krib paling hilir) pada variasi jarak yang sama, perubahan daerah gerusan yang terjadi (LG-c, LG-d, LG-g dan LG-h) menunjukkan kecenderungan semakin besar, seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib.

Gambar 13 dan Tabel 4 menunjukkan kedalaman gerusan yang terjadi pada satu seri pemasangan krib. Pada panjang krib dan jarak krib yang sama, menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu berkurangnya ratio gerusan maksimum dengan gerusan maksimum awal (S_{max}/S_{max0} ; dimana S_{max0} adalah kedalaman gerusan maksimum pada krib kedap air tunggal) di sekitar krib seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib. Secara keseluruhan, pada pertambahan variasi jarak dan variasi panjang, dengan bertambahnya permeabilitas krib maka kedalaman gerusan mengikuti *trendline* pada Gambar 13 (*eksponensial*). Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4, terlihat bahwa ratio kedalaman gerusan yang paling kecil terjadi pada saat permeabilitas krib 60% berkisar 0,12-0,19 kali gerusan maksimum awal (S_{max0}), sesuai dengan perubahan jarak kribnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan diambil kesimpulan :

1. Secara kualitatif dan kuantitatif, hasil kalibrasi model RMA2 menunjukkan tingkat kesesuaian yang memadai, dengan rasio antara RMS U/Um dengan rerata U/Um yang dihasilkan < 5%, sedangkan hasil model SED2D memiliki tingkat kesesuaian yang kecil dengan tingkat penyimpangan mencapai 30%.
2. Hasil simulasi pengaruh pemasangan krib terhadap sedimentasi menunjukkan bahwa semakin besar permeabilitas krib, maka penambahan sedimentasi/ pengendapan yang terjadi antara dua krib akan bertambah bila kondisi ini dibandingkan dengan kondisi dasar saluran sebelum memasuki daerah krib.
3. Hasil simulasi pengaruh pemasangan krib terhadap gerusan (*scour*) menunjukkan bahwa perubahan daerah gerusan untuk krib di bagian hulu (2 krib pertama) pada variasi jarak yang sama (LG-a, LG-b, LG-e dan LG-f) cenderung semakin berkurang seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib. Sedangkan untuk krib di bagian hilir (2 krib paling hilir) pada variasi jarak yang sama, perubahan daerah gerusan yang terjadi (LG-c, LG-d, LG-g dan LG-h) menunjukkan kecenderungan semakin besar, seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib.
4. Semakin banyak jumlah krib dipasang pada tepi sungai, maka daerah gerusan pada krib di bagian hulu (LG-a dan LG-e) semakin berkurang. Sedangkan untuk krib di bagian hilir (untuk jumlah lebih dari 2 krib), semakin banyak jumlah krib dipasang maka daerah gerusan yang terjadi (LG-c, LG-d, LG-g dan LG-h) akan semakin besar.
5. Pada panjang krib dan jarak krib yang sama, menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu berkurangnya ratio gerusan maksimum dengan gerusan maksimum awal (S_{max}/S_{max0}) di sekitar krib seiring dengan bertambahnya permeabilitas krib. Ratio kedalaman gerusan yang paling kecil terjadi pada saat permeabilitas krib 60% berkisar 0,12-0,19 kali gerusan maksimum awal (S_{max0}), sesuai dengan perubahan jarak kribnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Boss SMS (1995), User's Manual Suurface water Modelling System, Version 5.02, *Engineering Computer Graphics Laboratory*, Madison : Brigham Young University.
2. Dumadi, A Ig (1997), *Studi Kinerja Hidraulik Krib Terhadap Pola Arus dan Dinamika Dasar Saluran yang Dipengaruhi Pasang Surut*, Tesis S2 Jurusan Pengutamaan Rekayasa Sumber Daya Air, Prodi Teknik sipil, Bandung : ITB.
3. Yeo, H K (2006), Nature-friendly River-training Structure Using Groynes, *Water Resources Research Department*, Korea Institute of Construction Technology
4. Przedwojski, B, Btazejewski, R, dan Pilarzyk, K W (1995), *River Training Techniques*, Rotterdam, A. A. Balkema.
5. Sujatmoko, B, Rahardjo, A P, dan Legono, D (2002), Kajian Pengaruh Konfigurasi Krib terhadap Pola Arus di Belokan, *Jurnal Media Teknik, FT. UGM*, No. 2 Th. XXIV, Mei, hal. 32 – 39
6. Sujatmoko, B (2006), Prediksi Perubahan Bentuk Dasar Sungai Di Belokan (studi kasus : sungai Indragiri di daerah Air Molek), *Jurnal Teknik Sipil Atmajaya, FT.UAJ*, Vol. 7 Nomor 1, Oktober, hal. 14 – 26.