

EFFECT OF BED SHEAR STRESS ON ARMOUR LAYER CHARACTERISTICS

PENGARUH TEGANGAN GESER DASAR TERHADAP KARAKTERISTIK ARMOUR LAYER

Cahyono Ikhsan¹⁾, Adam Pamudji Raharjo²⁾, Djoko Legono³⁾, dan Bambang Agus Kironoto⁴⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Doktoral Teknik Sipil, Dosen Universitas Sebelas Maret Fakultas Teknik Sipil, e-mail: cahyono1970@yahoo.co.id

^{2),3),4)} Staf Pengajar, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

The study presents the analysis of bedload transport, changes in the structure armour layer and topography of the sediments during the degradation process. In the analysis of variations in channel slope and bedload composition of actively moving. The study focused on observations of shear stress on the condition of passive and active conditions on the formation of armor layer at a constant discharge. Hydraulics Lab studies using the main sediment-recirculating flume of plexiglass dimensionless width 0.60 m, length of 10.00 m, a depth of 0.45 m and a channel slope of 1% to 3%. Constant discharge capacity of 40 l/s. Granular material is mixed with a composition of 70% gravel, 30% sand. Running on low flow two phases which phase equilibrium and armor. The instruments used between digital currentmeter, point gauge meter, sediment feeder, tRAP sediment, and surfer software version 8.0. The results illustrate the change in the slope of the channel armouring impact on increasing shear stress. Conditions are shown armor layer structure changes and changes in surface topography. While the grain size profile armor layer more upright, this condition indicates that the formation of armor layer effect on the stability of the channel.

Key words : shear stress, armour layer, bedload, grain size, flume

ABSTRAK

Penelitian menyajikan tentang analisis angkutan bedload, perubahan struktur *armour layer* dan topografi sedimen dasar selama proses degradasi berlangsung. Pada analisis tersebut membahas variasi pada kemiringan dasar saluran dan komposisi bedload yang bergerak aktif. Penelitian ini lebih memfokuskan pada pengamatan terhadap besarnya tegangan geser dasar yang terjadi pada kondisi pasif kepada suatu kondisi aktif dalam pembentukan *armour layer* akibat kecepatan aliran pada debit konstan. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Hidraulika menggunakan perangkat utama sediment-recirculating flume dari plexiglass berdimensi lebar 0,60 m, panjang 10,00 m, tinggi 0,45 m serta dengan kemiringan dasar yang dimulai dari 1% sampai 3%. Debit konstan pada kapasitas 40 l/s. Material granular yang dipakai dicampur dengan komposisi 70% gravel, 30% pasir. Running dilakukan pada debit aliran low flow pada 2 fase yaitu fase equilibrium dan fase armor. Instrumen yang digunakan antara lain digital currentmeter, point gauge meter, sediment feeder, sediment tRAP, dan dibantu software surfer 8.0. Hasil penelitian tersebut dapat menggambarkan *armouring* didasarkan pada perubahan kemiringan dasar yang berdampak pada peningkatan tegangan geser. Kondisi tersebut diperlihatkan pada perubahan struktur lapisan dasar dan perubahan topografi permukaan. Sedangkan profil grain size pada *armour layer* semakin tegak, kondisi tersebut menunjukkan terbentuknya *armour layer* yang berpengaruh pada stabilitas dasar saluran.

Kata-kata kunci : shear stress, armour layer, bedload, grain size, flume

PENDAHULUAN

Aliran *clear water* yang mengalir pada saluran atau sungai dengan dasar *gravel*, akan mengangkut sedimen sampai dengan tercapai kondisi dasar yang statis. Sedimen yang terangkut terhambat pergerakannya di permukaan yang kasar, mengakibatkan sebagian sedimen tetap tertahan atau berlindung di antara rongga-rongga butir. Butiran tersebut memiliki ukuran sedimen berdiameter besar, sebagai *armour layer* pada sedimen halus di bawahnya.

Armour layer memiliki ukuran butir yang hampir seragam, namun bergradasi butir yang bervariasi di antara butiran penyusunnya. Struktur lapisan *armour* yang terbentuk, didasarkan pada besarnya tegangan geser dasar selama berlangsungnya proses degradasi, yang digambarkan pada grafik distribusi *grain size*. Nampak bahwa struktur lapisan *armour* memiliki ukuran butir yang lebih besar dari pada lapisan di bawahnya (*substrate*). Butiran *armour* akan menghambat gerak sedimen yang melintas sehingga terjadi pertukaran butir antar fraksi disekitar rongga lapisan *armour* pada peristiwa *interlocking* dan *placement* sedimen yang bergerak pada aliran rendah.

Para pakar sedimen seperti Wilcock (2001) menyebutkan bahwa pembentukan lapisan *armour* didasarkan pada perbedaan

tegangan geser yang terjadi pada fraksi pasir dan *gravel*. Wilcock (2003) mengembangkan suatu hubungan antara *bedload* dengan lapisan *armour* serta *substrate* yang tergambar pada distribusi *grain size* secara keseluruhan, termasuk adanya butir pasir yang mengisi *gravel* pada saat terjadi angkutan sedimen. Curran and Wilcock (2005) melakukan eksperimen flume dengan intensitas debit yang besar dan mengukur *bedload* yang terangkut dan tertinggal di lapisan *armour*. Curran dan Tan (2010) meneliti tentang formasi klaster *armouring*. Struktur lapisan *armour* yang terbentuk merupakan campuran *gravel* dan pasir yang tersortir secara periodik.

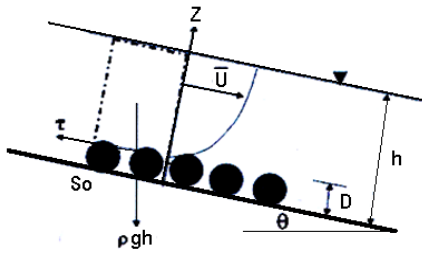
DASAR TEORI

Tegangan geser

Analisis *shear stress* pada kondisi *uniform flow* dapat dilihat pada Gambar 1. Aliran *uniform* pada saluran terbuka sebagai berikut;

1. Sudut kemiringan dasar saluran (θ) relatif kecil maka $\sin(\theta) \approx \tan(\theta) = S_o$, dengan S_o adalah kemiringan dasar saluran.
2. Saluran dengan penampang segi empat.
3. Kedalaman aliran (h) adalah jauh lebih besar dari diameter butir (D)

- Kondisi aliran merupakan aliran *turbulent uniform flow*
- Profil kecepatan rata-rata menurut hukum *logaritmik (log-law)*.



Gambar 1. Profil gaya pada bidang miring

Pada aliran *turbulent*, persamaan tegangan geser adalah;

$$\tau_t = \rho g R \sin(\theta) = \rho g R S_o \quad (1)$$

$$\tau_t = \rho u_*^2 \quad (2)$$

$$u_* = \sqrt{g R S_o} \quad (3)$$

dengan :

- τ_t = tegangan geser *turbulent*
- g = percepatan gravitasi
- ρ = massa jenis air
- u_* = kecepatan geser

Angkutan Sedimen Dasar (Bedload)

Sedimen dasar yang terangkut merupakan jumlah dari fraksi butir yang lepas dari permukaan dasar dan bergerak. Jumlah sedimen dasar total yang terangkut persatuan lebar dirumuskan;

$$q_{bT} = \sum_{i=1}^N q_{bi} \quad (4)$$

Sedangkan rasio sedimen yang terangkut merupakan perbandingan jumlah sedimen yang terangkut tiap fraksi butir dengan jumlah totalnya yang dirumuskan;

$$P_{bi} = \frac{q_{bi}}{q_{bT}} \quad (5)$$

Pada tegangan geser untuk non dimensional *grainsize* spesifik *Shields number* dirumuskan;

$$\tau^* = \frac{\tau_b}{\rho R g D_i} \quad (6)$$

$$\tau_b = \rho g R S \quad (7)$$

Atau
$$\tau_b = \rho u_*^2 \quad (8)$$

sehingga besarnya tegangan geser non dimensional dirumuskan;

$$\tau_i^* = \frac{\rho u_*^2}{\rho R g D_i} = \frac{u_*^2}{R g D_i} \quad (9)$$

Sedimen dasar yang terangkut akan bergerak dengan cara *sliding*, *rolling* dan *saltating*. Besarnya q_b diasumsikan akan senantiasa meningkat jika aliran kuat pada kedalaman rata-rata kecepatan (U atau pada tegangan geser batas (*boundary shear stress*) τ_b .

Pada non dimensional *Einstein bedload number* (q_{bi}^*) untuk setiap fraksi butir dirumuskan $q_{bi}^* = \frac{q_{bi}}{\sqrt{R g D_i} D_i F_i}$, hubungan

Einstein bedload number (q_{bi}^*) non dimensional dengan

grainsize spesifik *Shield number* dirumuskan $q_{bi}^* = (\tau^*)^{\frac{3}{2}}$.

Jadi jumlah sedimen yang terangkut pada non dimensional dirumuskan;

$$W^* = \frac{\left[\frac{\tau_i^*}{2} \right]^{\frac{3}{2}}}{q_{bi}} \quad \text{atau} \quad W^* = \frac{\left[\frac{u_*^2}{R g D_i} \right]^{\frac{3}{2}}}{q_{bi}} \quad (10)$$

$$W^* = \frac{u_*^3 F_i}{R g q_{bi}} \quad (11)$$

pada persamaan tersebut dapat dicari besarnya Diameter fraksi butir (F_i) *armour* dirumuskan

$$F_i = \frac{W^* R g q_{bi}}{u_*^3} \quad \text{atau} \quad F_i = \frac{W^* R g q_{bi}}{u_*^3} P_{bi} \quad (12)$$

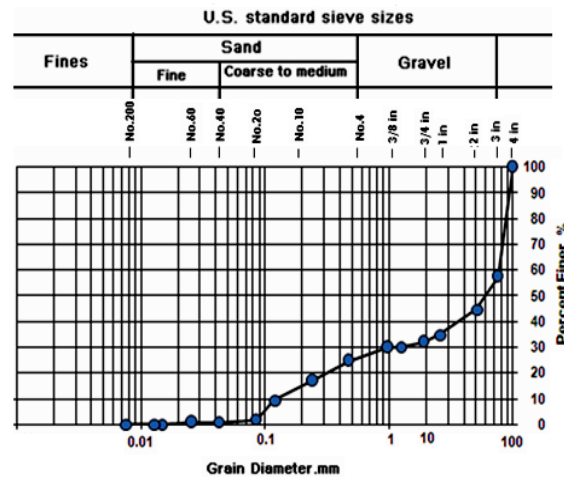
dengan W^* merupakan bilangan non dimensional jumlah sedimen yang terangkut, W^* juga merupakan fungsi dari

$\tau_i^* = \frac{u_*^2}{R g D_i}$, maka

$$F_i = \frac{W^* \left[\frac{u_*^2}{R g D_i} \right] R g q_{bi}}{u_*^3} P_{bi} \quad (13)$$

METODE

Pada percobaan ini menggunakan flume segi empat yang dimodifikasi dengan *send feeder*, dengan ukuran geometrik penampangnya adalah panjang 10 m, lebar 0.6 m dan kedalaman 0.45 m. Pada penelitian ini, sedimen diambil dari sungai kemudian dilakukan analisis saringan dengan *sieve* analisis dan diperoleh hasil distribusi *grain size* sesuai pada Gambar 2.



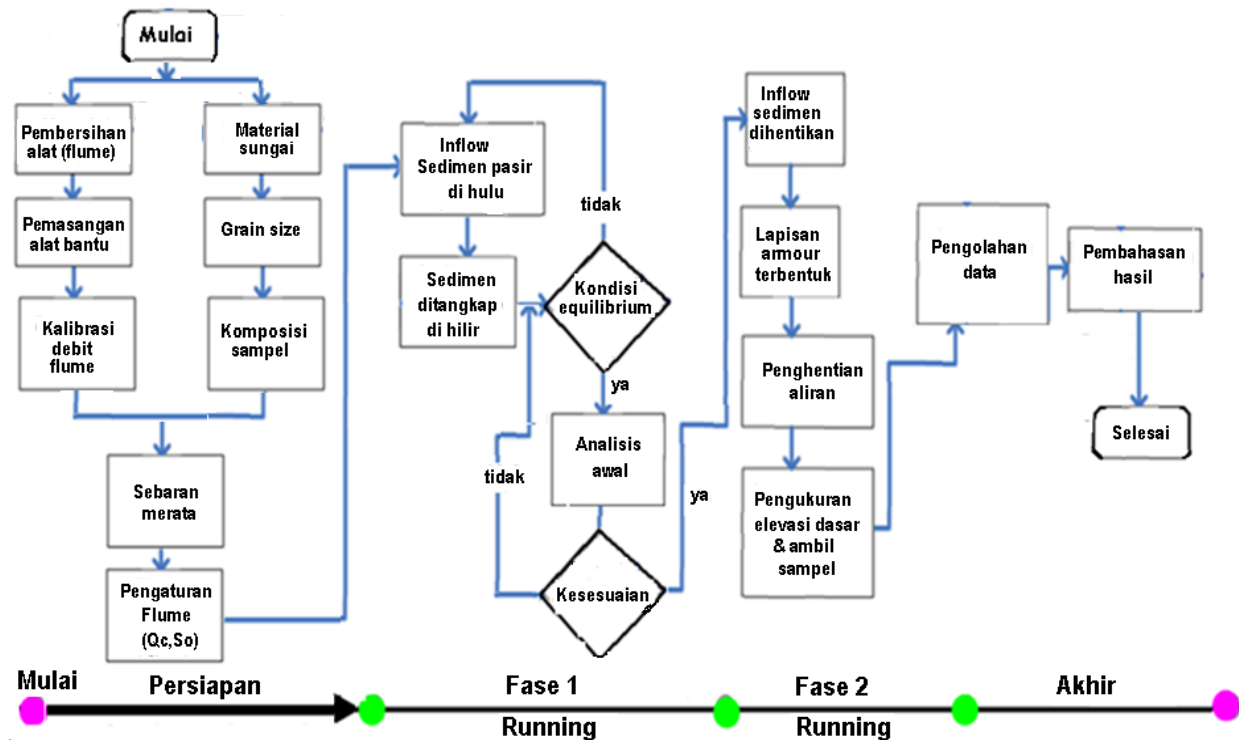
Gambar 2. *Grain size* material dasar sungai

Sedimen dasar yang digunakan, dicampur dengan perbandingan berat 70% *gravel* dan 30% pasir, dipasang di dasar flume secara merata dengan batas kedalaman 150 mm dari batas dasar. Selanjutnya air mengalir dan membawa butir sedimen yang lepas, kemudian debit dinaikkan sampai batas konstan 40 l/s dan diamati sampai tercapai kondisi aliran *uniform flow*, dan pengukuran bisa dimulai.

Pada saat awal eksperimen dimulai, ditandai dengan tercapainya kondisi aliran yang *uniform flow*, kemiringan dasar saluran diatur sesuai rencana (1% sampai dengan 3%) dan kedalaman aliran menunjukkan kondisi yang sama sepanjang *flume*. Pada awalnya kondisi batas hulu diatur untuk mencapai aliran yang seragam, namun akan terus berubah seiring dengan kedalaman aliran yang berbeda. Perbedaan kedalaman (variasi kedalaman) pada

saluran disebabkan terjadinya degradasi dasar saluran, lalu dilakukan pengukuran kedalaman dan penangkapan sedimen yang terangkut di hilir *flume*.

Running terus dilakukan sampai sedimen yang tertangkap semakin berkurang, hingga mencapai 1% dari berat awal sebaran di hulu, untuk lebih jelasnya kami sampaikan bagan alir skema pelaksanaan penelitian Gambar 3.



Gambar 3. Skema pelaksanaan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi sedimen *Bedload* yang terangkut

Komposisi sedimen *bedload* ditentukan selama berlangsungnya eksperimen yang diperoleh dengan menangkap sedimen yang terangkut di hilir *flume*. Perubahan pada distribusi ukuran butir mencerminkan perubahan tegangan geser yang terdapat pada sedimen dasar (*armour layer*) tersebut. Distribusi ukuran butir sedimen khususnya butiran kasar yaitu *armour* (Fi) sudah mulai nampak pada dasar permukaan pada saat *running* sudah mencapai 60 menit sampai dengan akhir eksperimen.

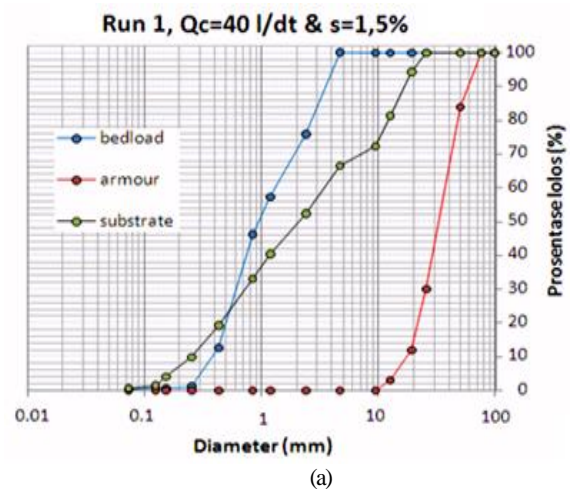
Pada saat awal pelaksanaan *running*, sudah terjadi peningkatan jumlah sedimen yang terangkut dan menunjukkan kecenderungan bahwa sedimen yang terangkut meningkat namun masih di bawah rata-rata ukuran medium.

Pada percobaan yang dilakukan dengan berbagai kondisi yang berbeda, percobaan 1 (energi gradien awal curam) dan percobaan 2 (energi gradien awal menengah), sedimen yang terangkut menunjukkan pola yang sama yaitu ukuran butirnya antara 0.35 mm sampai dengan 5.6 mm. Pada akhir fase *running* nampak sedimen yang halus bersembunyi diantara butiran yang kasar, tinggal dan terlindung di bawah *armour layer*.

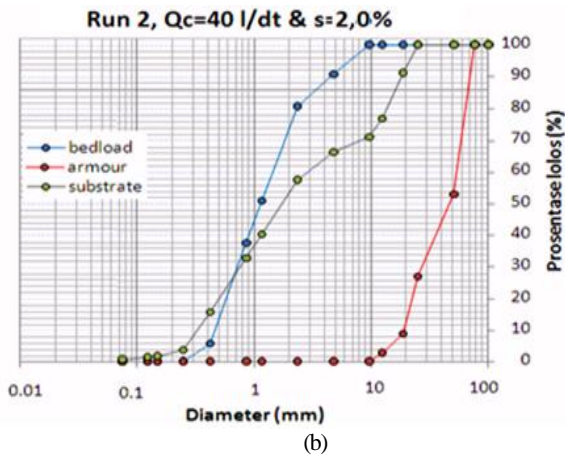
Untuk mengetahui perubahan distribusi ukuran *bedload* dan prosentase fraksi ukuran butir dengan cara diplotkan pada grafik logaritmik pada Gambar 4(a,b) untuk debit aliran yang konstan. Pada kemiringan yang curam, semua ukuran butir di bawah ukuran rata-rata mengalami pengurangan, sedangkan ukuran butir di atas rata-rata akan semakin bertambah. Jadi pembentukan struktur *armour layer* senantiasa berbeda pada setiap proses kemiringan.

Variasi kemiringan dasar saluran dan tebal *Armour Layer*

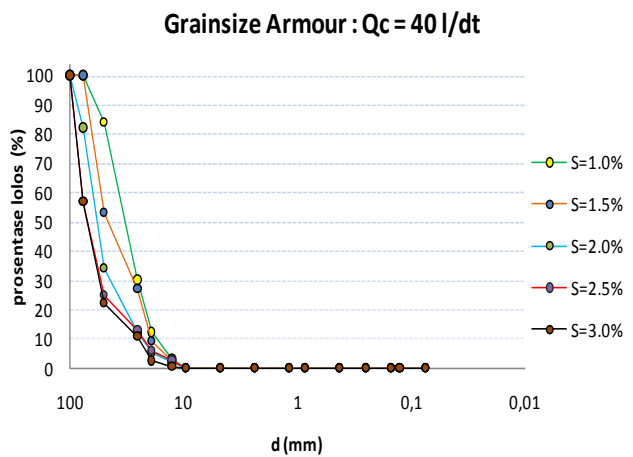
Pada Tabel 1 menyajikan rangkuman secara umum tentang analisis perubahan dasar saluran yang terjadi, dengan berbagai metode perhitungan, yang meliputi diameter ukuran butir pembentuk *armour layer* dan tebal *armour layer* pada perubahan kemiringan dasar saluran untuk debit konstan.



(a)



Gambar 4. Grain size bedload



Gambar 5. Profil distribusi armour layer

Tabel 1. Tebal lapis armoring

No	Kemiringan dasar (%)	Formula	Diameter ya (mm)	del.P	y (mm)
1.	1.0	Shields	9	0.68	13
		MPM	15	0.66	23
		Du Boys	4	0.71	6
		Schoklitsch	8	0.70	11
2.	1.5	Shields	13	0.67	19
		MPM	22	0.63	35
		Du Boys	7	0.70	10
3.	2.0	Schoklitsch	14	0.67	21
		Shields	17	0.65	26
		MPM	31	0.59	53
4.	2.5	Du Boys	10	0.68	15
		Schoklitsch	18	0.65	28
		Shields	22	0.63	35
		MPM	39	0.55	71
5.	3.0	Du Boys	14	0.67	21
		Schoklitsch	25	0.60	42
		Shields	25	0.60	42
		MPM	46	0.54	82
		Du Boys	25	0.60	42
		Schoklitsch	32	0.58	55

Pada setiap eksperimen diperoleh kesimpulan tentang proses pembentukan *armour layer* yang diawali dari penurunan kemiringan dasar saluran, peningkatan kekasaran dasar dan penambahan kedalaman aliran secara periodik. Sedangkan kedalaman degradasi sedimen dasar meningkat seiring dengan penambahan kemiringan dasar, dan pada kondisi tertentu akan dicapai aliran seragam (*uniform flow*).

Rata-rata variasi kemiringan dasar saluran pada setiap *running* berlangsung berdampak pada peningkatan tegangan geser yang ditunjukkan pada profil distribusi *grain size armour layer* pada Gambar 5 dari analisis data *grain size* sebagai berikut :

Tabel 2. Profil distribusi *grain size armour layer*

% FINER	S=1.0%	S=1.5%	S=2.0%	S=2.5%	S=3.0%
100	100	100	100	100	100
76.2	100	100	81.99995	56.99962	56.993059
50.8	84.0001	53.00062	34.00014	25	22.04269
25.4	29.99903	27.10118	12.00019	12.9999	10.7258
19.05	11.99907	9.101179	5.000237	5.999809	2.3070752
12.7					
9.525	0	0	0	0	0
4.75	0	0	0	0	0
2.36	0	0	0	0	0
1.18	0	0	0	0	0
0.85	0	0	0	0	0
0.425	0	0	0	0	0
0.25	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0
0.074	0	0	0	0	0

Pada Gambar 5 nampak bahwa ukuran butir yang lebih besar dari 10 mm tidak dapat mewakili karakteristik *bedload*, di mana tegangan geser permukaan adalah lebih kecil dari nilai kritisnya. Sedangkan sedimen yang berukuran kurang dari 2.00 mm adalah sangat unik, di mana sedimen tersebut tinggal dan berlindung diantara rongga sedimen yang berukuran lebih besar. Fenomena ini ditemukan pada saat terjadinya proses degradasi, yang diawali dari kondisi equilibrium (keseimbangan antara sedimen yang terangkut dengan sedimen yang masuk), sedimen bergerak melintasi permukaan sedimen dasar dan masuk, tinggal dan berlindung kedalam rongga *armour layer* selama proses pembentukan *armouring*.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang kami lakukan sebagai berikut :

1. Karakteristik pembentukan lapisan *armour* dipengaruhi oleh kemiringan dasar saluran yang berdampak pada peningkatan tegangan geser.
2. Mekanisme pembentukan lapisan *armour* diawali dengan proses pengkasaran dasar secara terus menerus, penyatuan butiran sedimen sampai dengan terbentuk stabilitas dasar.
3. Pada saat sedimen dasar terangkut, maka dasar saluran akan mengalami proses degradasi, butir halus akan terangkut sedangkan butiran yang kasar tetap tertinggal membentuk lapisan pelindung (*armour layer*) melindungi sedimen halus di bawahnya.
4. Mekanisme *armouring* diawali dari pergerakan *bedload* secara terus menerus dari hulu saluran sampai dengan tidak ada

lagi *bedload* yang terangkut, maka $\tau_i^* = \frac{u_*^2}{RgD_i}$ mendekati nol, sehingga $F_i = \frac{W^* \left[\frac{u_*^2}{RgD_i} \right] Rgq_{bi}}{u_*^3} p_{bi}$ bernilai nol, jadi

$$F_i = \frac{W^* \left[\frac{u_*^2}{RgD_i} \right] Rgq_{bi}}{u_*^3} p_{bi}$$

sedimen yang tertinggal di *flume* dalam kondisi statis, atau disebut *static armour*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terimakasih kami haturkan kepada :

1. Ir Adam Pamudji Rahardjo, MSc.,Ph.D., Prof. Dr. Ir. Djoko Legono dan Prof Dr. Ir. Bambang Agus Kironoto yang telah membimbing pada penulisan penelitian ini.
2. Terimakasih kami ucapkan kepada semua pihak yang membantu proses penelitian di laboratorium Mekanika Tanah dan

DAFTAR PUSTAKA

- Crowe, J.C. and Lu Tan (2010). "An Investigation of Bed Armoring Process And The Formation of Microclusters ". *Joint Federal Interagency Conference*, Las Vegas.
- Hassan, M.A. and Church, M. (2000). " Experiments on surface structure and partial sediment transport on a gravel bed." *Water Resources Research*, 36(7)
- Wilcock, P.R. (2001). "Toward a practical method for estimating sediment-transport rates in gravel-bed rivers", *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, p. 1395-1408.
- Wilcock, P.R. and J.C. Crowe (2003). " Surface-based transport model for mixed size sediment", *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 129, p. 120-128.
- Wilcock, P.R. and J.C. Crowe (2005). " Effect of sand Supply on transport rates in a gravel bed channel". *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 131, no.11 : 961-967.