

Pranoto Samto Atmojo *)

Abstract

Rock fill Dam, Coffe Dam, Groyne, Railway are example of structures composed by stone material. Rock fill structures are commonly stable enough, but when that's constructed in under water, than stability of structure will decrease significant. Stability of stone structure under water actually depend on by some variable these are depth of flooding, size or dimension, and stone position. The Author here will show with Rail way stabilities calculation for example. Trial by two level position of flooding ,assume diameter stone and gated value of properties , the result is stone with diameter 12 cm, will scour by less than 20 cm under water. The Stone will scours by the flowing water if the velocity of water (Va) bigger than Critical velocity of the stone (Ucr). At the reality, rail way structured by stone with variation size more or less from 5 to 12 cm, and depth of flooding possible occur more than 20 cm. So, rail way potential hanging cause of stone supporting scour by flooding however only 10 cm depth. Calculation of stone stabilities used after Isbash, Goncharov,Levi dan Maynord formulae.

Keyword: Velocity of Water (Va), Stone Critical Velocity (Ucr)

Pendahuluan

Tumpukan batu sering digunakan sebagai konstruksi penunjang untuk konstruksi lain, tetapi sering juga sebagai konstruksi utama. Sebagai konstruksi penunjang ,misalnya untuk Coffe Dam. Sedangkan sebagai konstruksi utama misalnya: Groyne, Breakwater, Jetty, pelindung tebing,bendungan urugan batu (Rock fill Dam). Bahkan pada konstruksi jalan rel Kereta api, tumpukan batu adalah material utama sebagai penyangga bantalan rel. Tumpukan batu sebenarnya relative stabil, tetapi kestabilan tersebut akan berkurang disaat terendam air, atau terkena limpasan air yang mengalir. Coffe Dam, Groyne, Breakwater akan selalu bersentuhan dengan genangan air. Rel Kereta api, akan sangat rawan terhadap limpasan air karena banjir. Tulisan berikut akan mengkaji stabilitas tumpukan batu yang tergenang air, dengan mengambil contoh pada perhitungan tumpukan batu pada rel kereta api. Hal ini menarik karena sering terjadi rel menggantung setelah terjadi banjir yang melimpas pada ruas jalan rel kereta api. Kecepatan air di titik tinjau (Va) akan mampu menggerakkan batu dengan diameter tertentu, bila kecepatan tersebut lebih besar dari kecepatan kritisnya batu (Vcr).

Lingkup Kajian

Pada kajian ini akan diambil contoh dari konstruksi jalan rel kereta api yang tergenang banjir. Prinsip dasarnya akan sama atau dapat digunakan pada konstruksi lain, misalnya pada Groin, Coffe Dam, Jetty, Rock fill Dam,dll. Potongan jalan rel kereta api, tinggi genangan, asumsi dimensi batu, dan properties lain seperti terlihat pada Gambar. Kajian meliputi: stabilitas batu pada posisi dasar dan diatas tumpukan, dengan dua kondisi muka air. Batu akan terlarut oleh aliran air bila kecepatan yang terjadi dititik tinjau (Va) lebih besar dari Kecepatan Kritis batu tersebut (Ucr). Peninjauan stabilitas batu digunakan formula yang sering digunakan dan beberapa formula lain : Isbash, Goncharov, Levi dan Maynord.

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Analisis Stabilitas Batu

Potongan badan rel kereta api dapat dilihat pada Gambar dibawah.

Ukuran batu yang digunakan pada material badan rel antara 5-12 cm. Muka air banjir ditinjau 2 kondisi, yaitu MA1: muka air dibawah bantalan rel yang menerobos rongga diantara batu kehilir, dan MA2: elevasi muka air yang melimpas rel. Jarak MA1 ke titik tinjau A adalah Za1, dan jarak MA2 ke titik A dan B masing – masing adalah Za2, dan Zb. Properties material:

$\rho_w=1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho_s=2650 \text{ kg/m}^3$, D= diameter batu dalam meter,diambil 0.12 m.

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = 1.65$$

Batu A dan batu B diilustrasikan lepas dan pindah ke A' dan B'. Kecepatan aliran yang terjadi di titik A dan titik B serta kecepatan kritis batu (Vcr) akan dihitung dengan kedalaman air yang bervariasi sampai keketinggian MA1 dan MA2 .

Pada posisi elevasi MA1

Variasi ketinggian muka air dihitung dari posisi A (Za) dengan kelipatan : 5 cm.

Contoh perhitungan Kecepatan aliran pada titik A: dengan kedalaman Za₁=0.10m (MA1)

$$V_a = \sqrt{2 \cdot g \cdot Z_{a1}}$$

$$Z_a = 0.10 \text{ m,}$$

$$g = 9.81 \text{ m/dt}^2 \text{ (gravitasi bumi)}$$

$$V_a = 1.40 \text{ m/dt}$$

Kecepatan Kritis batu:

$$U_{cra} = \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} \cdot (1.0) \cdot \text{Log} \frac{6 \cdot y_a}{D}, \dots\dots\dots(1)$$

y_a = dalam/ tebal air di titik A, diambil 0.10 m ,

D = 0.12 m (diameter batu)

$$U_{cra} = 0.97 \text{ m/dt}$$

V_a lebih besar dari U_{cr}, maka batu pada titik A akan larut terbawa aliran banjir.

Hasil perhitungan kecepatan di titik A dengan berbagai elevasi MA adalah seperti Tabel.1 berikut

Tabel.1 Perhitungan Kecepatan air di Titik A

No	Muka Air (Za ₁)	Kecepatan (Va)	Kecepatan Kritis(Ucr)	Keterangan
1	0	0.00	0.97	Batu tidak larut
2	0.05	0.99	0.97	Batu hampir larut
3	0.10	1.40	0.97	Batu Larut
4	0.15	1.72	0.97	Batu Larut
5	0.20	1.98	0.97	Batu Larut
6	0.25	2.21	0.97	Batu Larut
7	0.30	2.43	0.97	Batu Larut
8	0.35	2.62	0.97	Batu Larut

Grafik kecepatan air untuk berbagai kedalaman dapat dilihat pada Gambar.2 Grafik Kecepatan Air di Titik A dan B

Muka Air Sampai Pada posisi MA2:

Variasi ketinggian muka air dihitung dari titik A (Za₂) : 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35 m. Variasi ketinggian muka air dihitung dari titik B (Z_B) : 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20m

Contoh perhitungan Kecepatan di Titik A: untuk Za=0.35m

$$V_a = \sqrt{2 \cdot g \cdot Z_{a2}}$$

$$Z_a = 0.35m,$$

$$g = 9.81 \text{ m/dt}^2 \text{ (gravitasi bumi)}$$

$$V_a = 2.62 \text{ m/dt}$$

$$U_{cra} = \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} \cdot (1.0) \cdot \text{Log} \frac{6 \cdot y_a}{D}$$

$$y_a = 0.10 \text{ m (kedalaman air di titik A, diambil),}$$

$$D = 0.12 \text{ m (diameter batu)}$$

$$U_{cra} = 0.97 \text{ m/dt}$$

Kecepatan di titik B: Z_b=0.20m

$$V_b = \sqrt{2 \cdot g \cdot Z_b}, \quad Z_b = 0.20 \text{ m,}$$

$$g = 9.81 \text{ m/dt}^2 \text{ (gravitasi bumi)}$$

$$V_b = 1.98 \text{ m/dt}$$

$$U_{cra} = \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} \cdot (1.0) \cdot \text{Log} \frac{6 \cdot y_b}{D}$$

$$y_b = \text{kedalaman air di titik B, ambil } 0.10 \text{ m,}$$

$$D = 0.12 \text{ m}$$

$$U_{cra} = 0.97 \text{ m/dt}$$

V_a lebih besar dari U_{cra}, V_b lebih besar dari U_{cra}, maka batu di A dan di B semua larut untuk muka air pada posisi MA2.

Hasil perhitungan kecepatan di titik B dengan berbagai elevasi MA adalah seperti Tabel.2 ,kecepatan di titik A dengan berbagai elevasi ma telah dihitung hasilnya pada Tabel.1

Tabel.2 Perhitungan Kecepatan air di Titik B

No	Muka Air (Z _B)	Kecepatan (V _B)	Kecepatan Kritis(Ucr)	Keterangan
1	0	0.00	0.97	Batu tidak larut
2	0.05	0.99	0.97	Batu hampir larut
3	0.10	1.40	0.97	Batu Larut
4	0.15	1.72	0.97	Batu Larut
5	0.20	1.98	0.97	Batu Larut

Perhitungan Ucritis Menurut beberapa formula :

Menurut Isbash (1935):

$$U_{cr} = 1.7 \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} \text{ (di dasar kaki hilir tumpukan) ..(2)}$$

$$= 2.37 \text{ m/dt}$$

Akibat turbulen, dikalikan faktor turbulen 0.70, sehingga :

$$U_{cr} = 1.66 \text{ m/dt}$$

Untuk batu di tumpukan atas :

$$U_{cr} = 1.2 \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} = 1.67 \text{ m/dt} \dots\dots\dots(3)$$

Pada kondisi aliran turbulen U_{cr} dikalikan faktor turbulensi 0.7, sehingga :

$$U_{cr} = 1.17 \text{ m/dt}$$

Isbash tidak memperhatikan kedalaman air.

Goncharov(1959):

$$U_{cr} = 0.75 \cdot \log \frac{8.8 \cdot y}{D} \cdot \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Untuk } y=0.10 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 0.90 \text{ m/dt}$$

$$\text{Untuk } y=0.20 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 1.23 \text{ m/dt}$$

$$\text{Untuk } y=0.35 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 1.47 \text{ m/dt}$$

Levi (Shamov 1959)

$$U_{cr} = 1.4 \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} * (h / D)^{0.2} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Untuk } h=0.10 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 1.88 \text{ m/dt}$$

$$\text{Untuk } h=0.20 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 2.16 \text{ m/dt}$$

$$\text{Untuk } h=0.35 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 2.42 \text{ m/dt}$$

Maynord (1978)

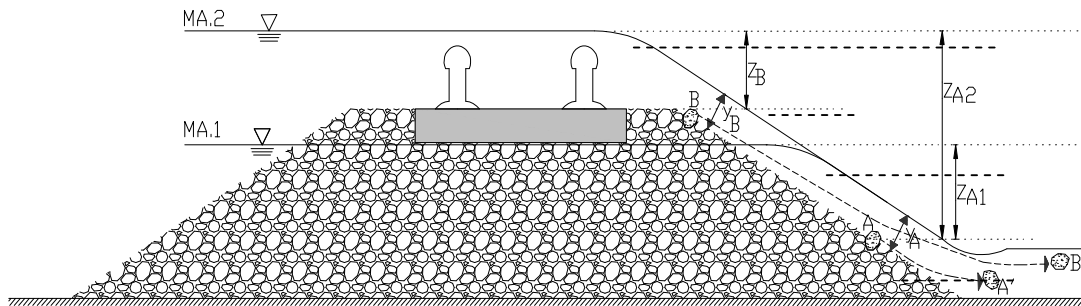
$$U_{cr} = 1.28 * \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D} * \left(\frac{h}{D}\right)^{1/6} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Untuk } h=0.10 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 1.73 \text{ m/dt}$$

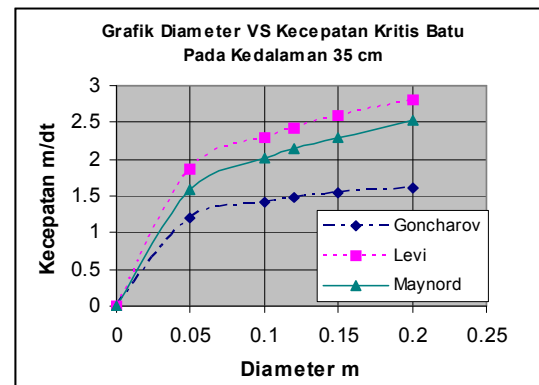
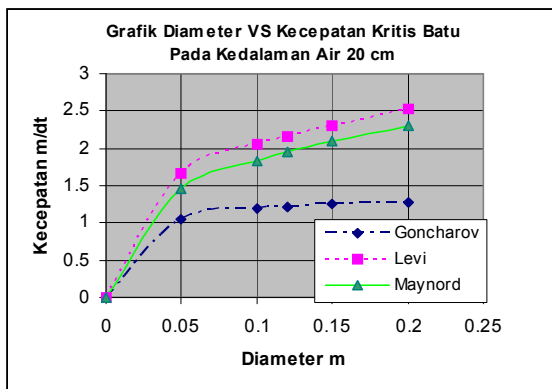
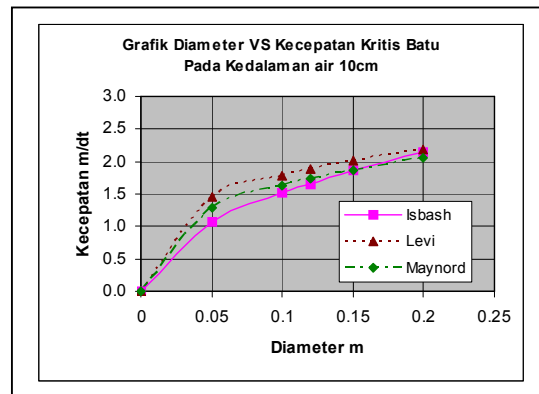
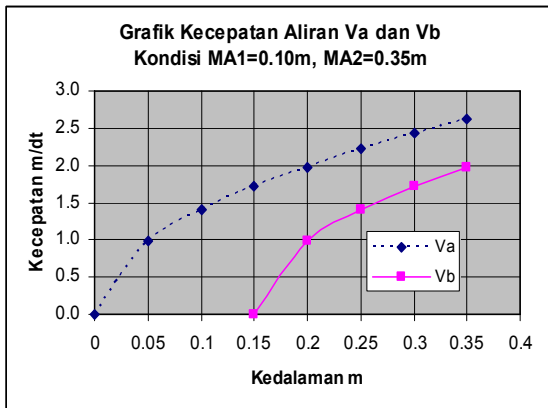
$$\text{Untuk } h=0.20 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 1.94 \text{ m/dt}$$

$$\text{Untuk } h=0.35 \text{ m, } D=0.12\text{m, } U_{cr} = 2.13 \text{ m/dt}$$

Kecepatan Kritis Batu berbagai diameter untuk kedalaman air 10, 20, dan 35 cm, dapat dilihat pada Grafik.3,4 dan 5.



Gambar : Potongan Badan Rel, Muka Air Banjir, dan Mekanisme Perpindahan Batu



Pembahasan

Diameter batu diambil 0.12 m, kedalaman atau ketebalan air pada titik tinjau 0.10 m, beda muka air upstream dan downstream dua kondisi Z_{a1} dan Z_{a2} (aliran sempurna). Kenyataan dilapangan, kedalaman air dititik tinjau lebih besar atau lebih kecil dari 10 cm, begitu juga besarnya Z_{a1} dan Z_{a2} .

Rumus (1) sering digunakan pada perhitungan stabilitas Bendungan urugan batu atau coffer Dam dan revetment. Pada perhitungan diatas hasilnya baik pada banjir MA_1 , maupun banjir MA_2 , batuan di A maupun di B semua terlarut. Hal ini ditunjukkan dari

kecepatan aliran pada titik tinjau tersebut ($V_{a1}=1.40$ m/dt, $V_{a2}=2.62$ m/dt, $V_b=1.98$ m/dt) lebih besar dari kecepatan kritis batu ($U_{cr}=0.97$ m/dt). Bahkan pada kedalaman 0.05 m (Tabel.1), V_a sudah lebih besar dari U_{cr} , berarti batu mulai larut/bergerak.

Isbash (2), melakukan percobaan dengan mengabaikan pengaruh (h/D) , membedakan kecepatan kritis di dasar dan di atas tumpukan dengan rumus yang berbeda. Akibat aliran turbulen mengurangi kecepatan kritis dengan faktor pengali 0.70. Dari hasil perhitungan untuk kondisi MA_2 : dapat disimpulkan batu pada titik tinjau B (atas) terlepas, karena $V_b=$

1.98 m/dt lebih besar dari $U_{crb}=1.17$ m/dt. Batu pada titik A (dasar) $V_a=2.62$ m/dt lebih besar dari $U_{cr}=1.66$ m/dt (batu terlepas). Tetapi pada kondisi MA1: batu A tidak lepas, karena $V_a= 1.40$ m/dt lebih kecil dari $U_{cr}= 1.66$ m/dt

Goncharov(4), pada percobaannya membedakan kondisi batu yang betul-betul diam dan batu yang hampir gerak. Pada tinjauan dengan formula ini, pada kondisi muka air MA1 dan MA2 semua batu di titik tinjau (A dan B) larut.

Levi (5), dan Maynord(6)- berbeda dengan Isbash- dalam penelitiannya memperhatikan unsur (h/D) . Hasil perhitungan ini kecepatan kritisnya relatif lebih besar. Hasilnya hampir sama yaitu : batu A pada banjir level MA1 stabil ($V_a=1.40$ m/dt, lebih kecil dari U_{cr} Levi= 1.88 m/dt, dan U_{cr} Maynord= 1.73 m/dt). Tetapi pada banjir MA2, batu di A maupun di B larut.

Kesimpulan

Konstruksi tumpukan batu cukup stabil, tetapi bila batu tersebut terendam air, maka stabilitasnya akan turun drastis. Dengan berbagai formula dan kondisi seperti yang diambil, semua batu yang ditinjau larut, kecuali batu A pada MA1 dengan formula Isbash, Lavi dan Maynord. Material batu pada badan rel sangat rawan larut akibat genangan banjir walau air tidak melimpas. Bila batu posisi A dan B larut, maka batuan disekitarnya akan larut pula, dan hal ini akan menyebabkan menggantungnya bantalan rel.

Saran

Untuk mempertajam kesimpulan ini, ada baiknya diadakan penelitian dilapangan pada kasus yang nyata. Untuk aplikasi, pada kondisi rel yang terendam atau sebagian terendam, sebaiknya Kereta Api dilarang lewat, sebelum betul-betul kondisi badan rel aman atau tidak menggantung.

REFERESI

1. HNC Breusers (1988), *Lecture Notes on Sediment Transport*, IHE
2. Indratmo Soekarno (2000), *Catatan Kuliah Rekayasa Sungai*, ITB
3. Pranoto.SA (1994), *Stabilitas Cofferdam Limpas*, Makalah Diskusi Ilmiah FT Undip
4. Pranoto.SA (2007) dkk, *Perencanaan Sistem Dewatering Pelaksanaan Bendung Gerak Tulis*

