

# PENENTUAN KEDALAMAN DAN POLA GERUSAN AKIBAT ALIRAN SUPERKRITIK DI HILIR PINTU AIR MENGGUNAKAN *END SILL* DAN *BUFFLE BLOCK* DENGAN SIMULASI MODEL INTEGRASI NUMERIK

Pudyono, Sunik

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jl. MT. Haryono 167 Malang

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kedalaman dan pola gerusan hasil simulasi dengan integrasi numerik pada loncatan hidraulik yang melalui pintu sorong (*sluice gate*) dengan menggunakan 3 jenis model yaitu model apron kosong di hilir pintu, model apron- *end sill* dan model apron-*buffle block* ( $Q = 155, 233, 311, 389, 467$  l/det, dengan variasi bukaan pintu  $a_1 = 6, 9, 12$  cm;  $a_2 = 6$  cm dan  $a_1 = 6, 9, 12$  cm;  $a_2 = 12$  cm.). Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen berupa simulasi integrasi numerik dengan menggunakan program. Analisis menggunakan apron dan *end sill* serta *buffle block* hanya dilakukan pada saluran 1 yaitu saluran mendatar dengan pintu sorong. Ada tiga macam variasi model (M1-M3) yaitu apron kosong; apron dan *end sill*; apron dan *buffle block*, lima macam variasi debit (Q1-Q5) dan satu macam kondisi bukaan pintu hilir (K1) yaitu kondisi loncat air di hilir pintu. Macam-macam model yang dipakai adalah M1 = model dengan apron kosong, M2 = model dengan apron dan *end sill*, M3= model dengan apron dan *buffle block*. Kondisi loncat air yang digunakan adalah K1 - kondisi loncat air di hilir pintu hulu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman gerusan (faktor keamanan pengali untuk ke dua jenis model = 1,5) menggunakan apron-*end sill* berada dalam range 26 mm – 82 mm (gerusan berkurang sekitar 10%-15% dengan adanya pemasangan *end sill*) sedangkan kedalaman gerusan menggunakan apron-*buffle block* berada dalam range 21 mm – 64 mm (gerusan berkurang sekitar 20% - 30% dengan adanya pemasangan *buffle block*). Pola gerusan pada saat debit pengaliran semakin meningkat bentuknya beragam, bisa terletak dalam satu segmen (satu lokasi) bisa pula terletak berjauhan (tersebar). Ini dapat terjadi karena adanya pengaruh kecepatan aliran, karakteristik aliran (superkritis, kritis dan sub kritis) serta kedalaman aliran ( $y_1, y_2, y_p, y_3$ ).

Kata kunci: loncatan hidraulik, karakteristik aliran, kecepatan aliran, kedalaman gerusan, pola gerusan

## PENDAHULUAN

Bangunan pintu air geser tegak (*sluice gate*) di jaringan irigasi pada saat pintu dibuka dapat menimbulkan aliran superkritis yang saat bertemu dengan aliran subkritis dibagian hilir akan terjadi loncatan air (*hydraulic jump*). Terjadinya aliran superkritis dan loncat air inilah yang menjadi pemicu terjadinya gerusan yang dapat mengakibatkan runtuhnya bangunan. Air dari hulu yang melewati pintu sorong ketika pintu dibuka dengan bukaan (a) tertentu mempunyai energi yang besar sehingga kecepatan aliran yang melintas akan semakin besar, berupa aliran superkritis transisi

ke bagian hilir depan pintu berupa aliran subkritis. Perubahan aliran dari superkritis ke subkritis menyebabkan terjadinya loncatan hidraulik (Raju,1986). Aliran air dengan loncatan hidraulik melalui pintu sorong (loncatan hidraulik ini terdiri dari beberapa tipe yakni berombak; lemah; getar; tetap; kuat) dapat mempengaruhi kondisi di hilir saluran yaitu berupa erosi atau gerusan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu usaha untuk melindungi hilir saluran dari gerusan lokal dengan mengusahakan agar kecepatan di daerah yang erodibel cukup kecil. Cara yang dapat dilakukan adalah dengan membuat *stilling basin* (apron)

dengan bangunan pemecah energi (*end sill* atau *baffle block*) di hilir pintu air. Sehubungan dengan hal itu juga perlu diketahui hubungan perkembangan gerusan terhadap waktu, pengaruh parameter aliran terhadap gerusan lokal dan efek bangunan pemecah energi terhadap gerusan lokal.

Berdasar uraian tersebut maka perlu ada penelitian tentang kedalaman dan panjang gerusan di hilir pintu menggunakan bangunan pemecah energi. Menggunakan data sekunder dapat dibuat model simulasi kedalaman dan panjang gerusan dengan integrasi numerik.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Gerusan

Gerusan merupakan suatu proses alamiah (sering terjadi di sungai atau saluran) akibat pengaruh morfologi sungai atau adanya bangunan air (*hydraulic structure*). Adanya bangunan air menyebabkan perubahan karakteristik aliran seperti kecepatan atau turbulensi sehingga menimbulkan perubahan transpor sedimen dan terjadinya gerusan.

Gerusan didefinisikan sebagai pembesaran dari suatu aliran bersama dengan pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal terjadi pada suatu kecepatan aliran, sedimen yang ditranspor lebih besar dari sedimen yang disuplai. Transpor sedimen bertambah dengan meningkatnya tegangan geser sedimen, gerusan terjadi ketika perubahan kondisi aliran menyebabkan peningkatan tegangan geser pada dasar.

Gerusan lokal (*local scouring*) adalah akibat yang biasa terjadi apabila dalam suatu saluran ditempatkan suatu penghalang atau penghambat laju aliran sampai terjadi perubahan yang mendadak pada arah alirannya. Penghambat aliran ini dapat berupa bangunan-bangunan air yang sengaja dibuat atau akumulasi sampah maupun sedimen yang menumpuk pada alur aliran.

Pintu air merupakan salah satu bangunan air yang dipakai sebagai pengatur masuknya air untuk dibagi atau untuk mengatur debit. Banyak macam dan jenis pintu air dan salah satunya adalah pintu sorong (*sluice gate*). Aliran air lewat bawah pintu (*underflow*) merupakan aliran superkritis yang mempunyai energi tinggi sehingga mengakibatkan terjadinya permasalahan gerusan di hilir pintu terutama jika material dasarnya berupa material halus (*erodibel*). Sewaktu pintu dioperasikan akan terjadi pola aliran di daerah bukaan pintu dimana arus aliran tersebut akan berinteraksi dengan material yang ada di sekelilingnya. Interaksi arus aliran dengan dasar saluran akan menyebabkan material di dasar saluran tergerus. Apabila di dasar saluran tersebut bermaterial lunak atau material lepas maka akan terjadi pola gerusan tertentu yang mencerminkan pola gerusan akibat aliran tersebut.

Dalam Chatterje dkk (1994) dikatakan tentang mekanisme gerusan di belakang pintu air. Debit yang mengalir melalui pintu air membentuk suatu semburan (*jet*) di atas dasar erodibel. Kecepatan *jet* yang tinggi menimbulkan tegangan gesek yang besar melebihi tegangan gesek kritis butiran yang merupakan batas awal gerak butiran dan hal ini menyebabkan terbentuknya gerusan lokal di hilir apron. Lubang gerusan yang terbentuk menyebabkan peningkatan kedalaman aliran lokal (pada lubang gerusan tersebut) dan berakibat tegangan gesek di atas dasar menjadi kurang dan lebih kecil dibandingkan tegangan gesek kritis material dasar sehingga terjadi penurunan material yang ternagkut dan akhirnya tercapai tahap keseimbangan dimana gerusan tidak bertambah lagi. Perkembangan gerusan sangat tergantung waktu. Awalnya gerusan berkembang dengan cepat kemudian berkurang sampai tercapai tahap keseimbangan.

Dalam Breusers (1991) dikatakan bahwa bentuk aliran pada lubang gerusan di saluran dua dimensi hampir mirip dengan lapis turbulen. Arus/olakan air lunak terbentuk dekat dasar pada awal lubang gerusan dan berakhir pada lokasi kedalaman gerusan maksimum, di daerah ini aliran sangat turbulen dan menyebabkan transpor material dasar. Pada lokasi di sebelah hilir kedalaman gerusan maksimum, profil kecepatan menurun perlahan kembali ke kondisi normal dan turbulensi berkurang.

Vischer dkk (1995) mengatakan bahwa pada teknik hidraulik, *stilling basin* dan *baffle apron* merupakan contoh pemecah energi. Jika partikel air jatuh ke suatu basin maka akan terjadi peredaman energi yaitu disipasi energi hidraulik. *Stilling basin* jarang dirancang sesuai panjang loncat air yang terjadi karena tidak ekonomis (Hoffmans, 1997). Oleh karenanya perlengkapan tambahan seperti *end sill*, *baffle apron* biasanya dipasang pada *stilling basin* untuk mengontrol loncatan. Tujuan utama pengaturan ini adalah untuk memperpendek awal loncat air dan karenanya mengurangi ukuran dan biaya pembuatan *stilling basin*.

### **Loncatan Air Ditinjau Dari Lokasi dan Posisi Loncatan**

Pada umumnya teori mengatakan, bahwa loncatan akan terjadi pada saluran persegi panjang horisontal jika kedalaman mula dan kedalaman lanjutan serta bilangan *Froude* dari segi pendekatan analitik memenuhi persamaan momentum dari hasil analisa suatu fenomena aliran yang terjadi (Chow, 1985). Subramanya. (1986), Legono (1990) mengatakan kondisi aliran bebas dicapai bila aliran di depan pintu adalah subkritik dan di belakang pintu berupa aliran superkritik pada kondisi inilah terjadi loncat air (*hydraulics jump*). Pada sebagian besar bangunan irigasi, sering ditemui fenomena loncat air, pada saat terjadi perubahan aliran superkritik

ke subkritik. Kejadian itu, misalnya terjadi pada bagian hilir pintu geser tegak (*sluice gate*), dan pada bagian hilir bangunan pelimpah. Lokasi pembentukan loncat air sangat dipengaruhi oleh kedalaman air dihilir bangunan pintu air geser, Chow (1985) menyatakan bahwa ada tiga kemungkinan terbentuknya pola loncat air di daerah hilir bangunan pintu air geser.

### **Ambang Peredam Energi (*End Sill*)**

*End Sill* atau yang sering disebut dengan ambang peredam energi adalah bangunan terendam di bagian dasar saluran yang sering digunakan untuk mengatur loncat air dalam kolam olak atau kolam peredam energi apabila terdapat penurunan ketinggian air dihilir (Rangga Raju, 1981). Bangunan ini sangat berguna untuk memberikan kestabilan baik pada pembentukan aliran permukaan (*surface flow*) dalam hal ini menjaga tinggi muka air, maupun aliran bawah permukaan (*submerged flow*), dengan cara meredam aliran superkritik (*supercritical flow*) berkecepatan tinggi di bawah permukaan aliran yang bergerak dari bawah menuju permukaan searah hilir (Rajaratnam, 1995). Persamaan momentum dan kontinuitas dapat digunakan untuk memperoleh persamaan yang menentukan gaya loncat air di bawah pengaruh *end sill*, dengan mempertimbangkan beberapa hal seperti satuan lebar saluran keberadaan *end sill*.

### **Loncatan Air Dengan Ambang**

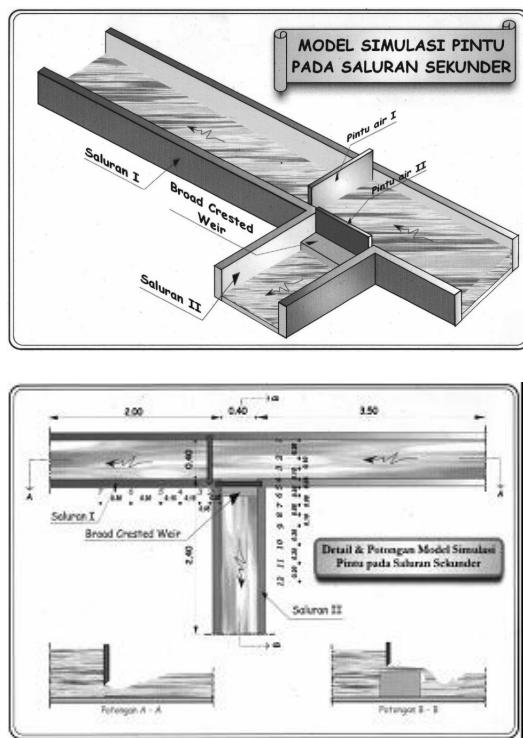
Loncat air yang terbentuk disebelah hilir suatu bangunan pintu air atau bendung pada dasarnya dapat dikendalikan atau diarahkan dengan suatu bangunan tertentu. Pengendali loncat air tersebut dapat berbentuk macam-macam, antara lain dengan pelimpah ambang tipis, pelimpah ambang lebar, balok peredam energi (*baffle block*), suatu penurunan atau kenaikan mendadak pada lantai saluran, atau membuat pelebaran

pada ujung apron. Pembuatan ambang di akhir kolam olak (*end sill*) dimaksudkan untuk mengendalikan agar loncat air terjadi di dalam kolam olak. Forster dan Skrinde dalam Chow. V.T,(1959).

## METODE PENELITIAN

### Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen berupa simulasi integrasi numerik dengan program bantu excel pada pintu air menggunakan peredam energi (*end sill* dan *baffle block*) di hilir pintu air. Model ditampilkan dalam **Gambar 1**. Model test berupa saluran sekunder. Saluran 1 adalah saluran mendatar dengan pintu sorong (*sluice gate*), saluran 2 adalah saluran mendatar dengan pintu sorong diatas ambang datar (*broad crested weir*). Data sekunder untuk variasi debit ( $Q = 155, 233, 311, 389, 467$  l/det, dengan variasi bukaan pintu  $a_1 = 6, 9, 12$  cm;  $a_2 = 6$  cm dan  $a_1 = 6, 9, 12$  cm;  $a_2 = 12$  cm.)



**Gambar 1.** Model Test Saluran Sekunder Dan Pembagian Section Pada Saluran

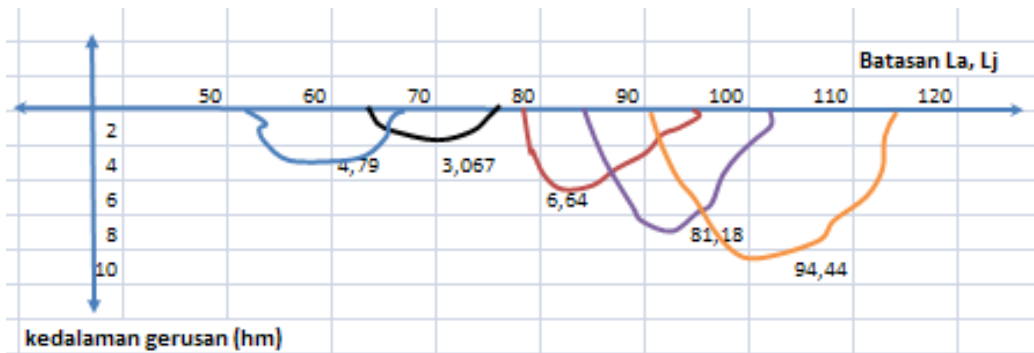
Untuk analisis menggunakan apron dan *end sill* serta *baffle block* hanya dilakukan pada saluran 1 yaitu saluran mendatar dengan pintu sorong. Ada tiga macam variasi model (M1-M3) yaitu apron kosong; apron dan *end sill*; apron dan *baffle block*, lima macam variasi debit (Q1-Q5) dan satu macam kondisi bukaan pintu hilir (K1) yaitu kondisi loncat air di hilir pintu. Macam-macam model yang dipakai adalah M1 = model dengan apron kosong, M2 = model dengan apron dan *end sill*, M3 = model dengan apron dan *baffle block*. Kondisi loncat air yang digunakan adalah K1 - kondisi loncat air di hilir pintu hulu.

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

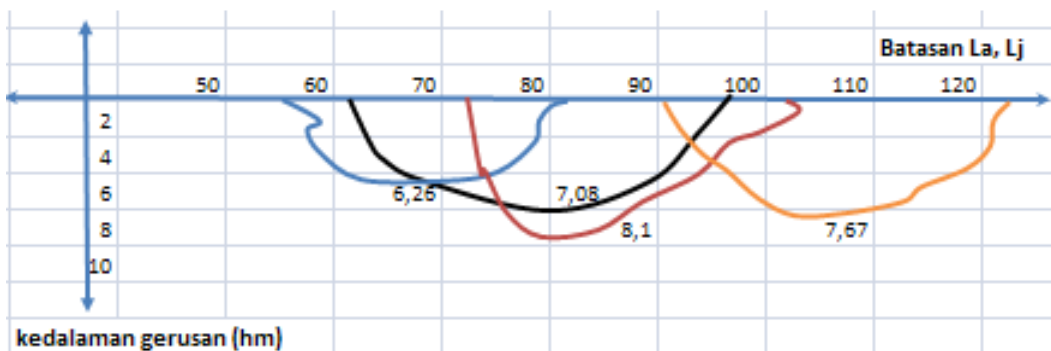
Hasil analisis perhitungan kedalaman gerusan dan pola gerusan loncatan hidraulik yang melalui bawah pintu sorong (*sluice gate*) pada saluran mendatar (saluran 1) dengan tiga jenis model (M1 yaitu apron kosong, loncat air di hilir pintu, variasi debit Q1 – Q5; M2 yaitu apron dan *end sill*, loncat air di hilir pintu, variasi debit Q1 – Q5; M3 yaitu apron dan *baffle block*, loncat air di hilir pintu, variasi debit Q1 – Q5) menggunakan data sekunder berupa nilai debit ( $Q = 155, 233, 311, 389, 467$  l/det, dengan variasi bukaan pintu  $a_1 = 6, 9, 12$  cm;  $a_2 = 6$  cm dan  $a_1 = 6, 9, 12$  cm;  $a_2 = 12$  cm.). Selengkapnya ditampilkan dalam **Gambar 2 s.d Gambar 19** yaitu pola gerusan terhadap panjang loncatan.

Dari **Gambar 20**, kondisi yang terjadi adalah:

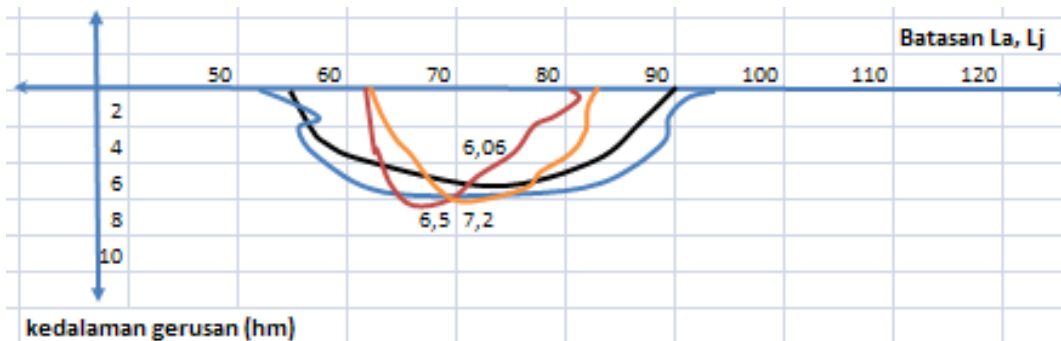
1. Pada saat kombinasi bukaan pintu  $a_1 = 6$  cm,  $a_2 = 6$  cm
  - a. Variasi debit (lima debit) mengalami peningkatan ( $Q = 155,86 - 467,45$  l/det); efeknya adalah loncatan hidraulik semakin panjang ( $L_j = 79,49 - 115,71$  cm);



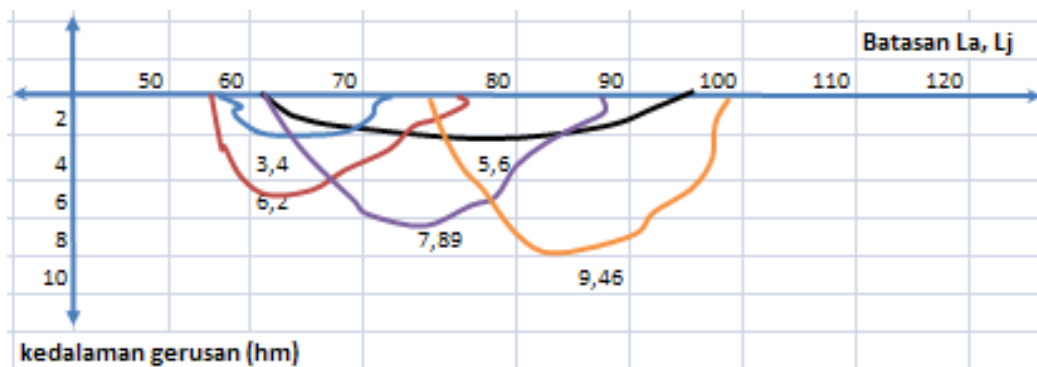
**Gambar 2.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/6), J1



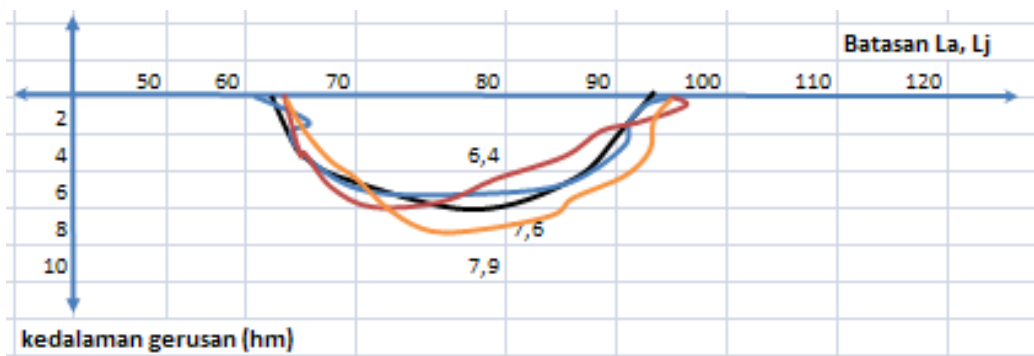
**Gambar 3.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/9), J1



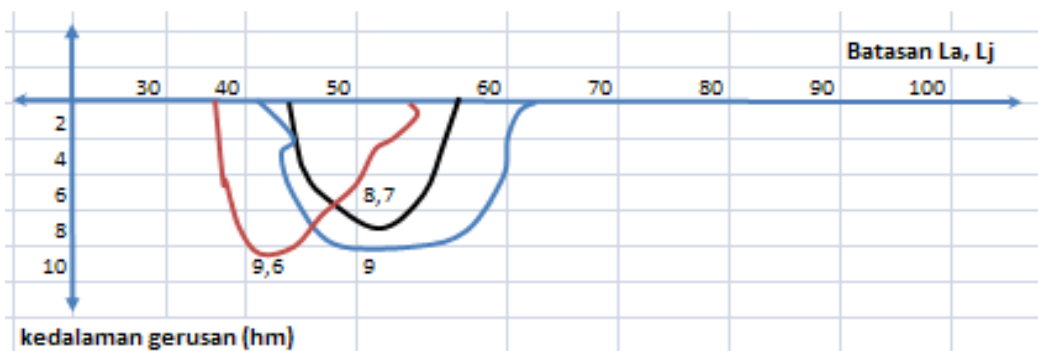
**Gambar 4.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/12), J1



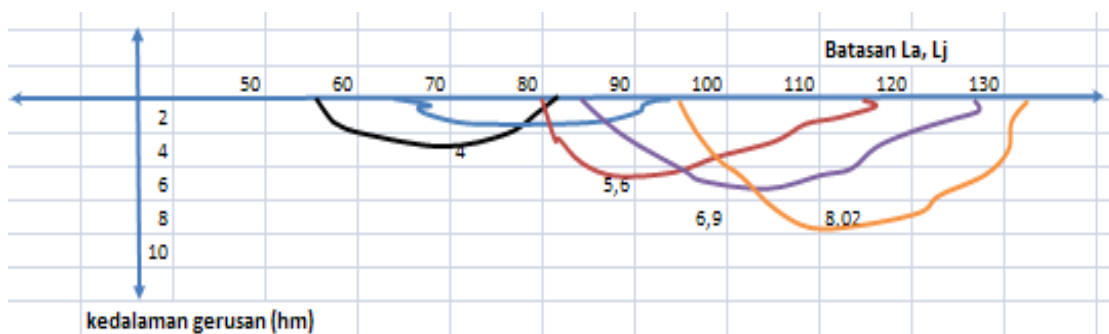
**Gambar 5.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/6), J1



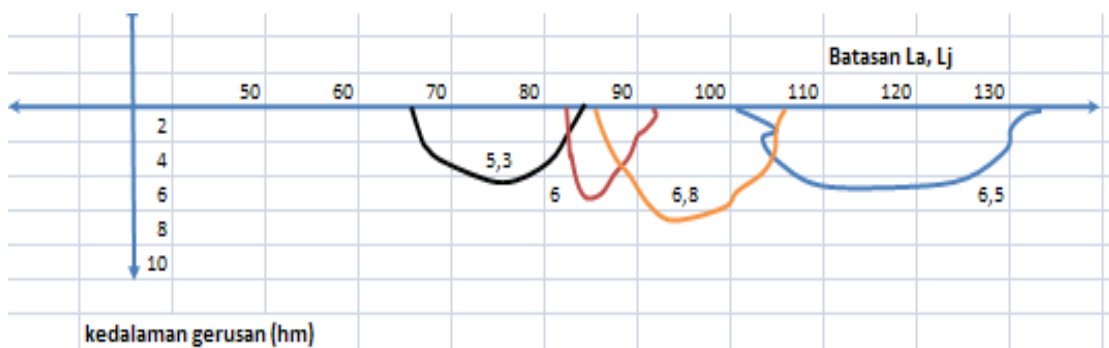
**Gambar 6.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/9), J1



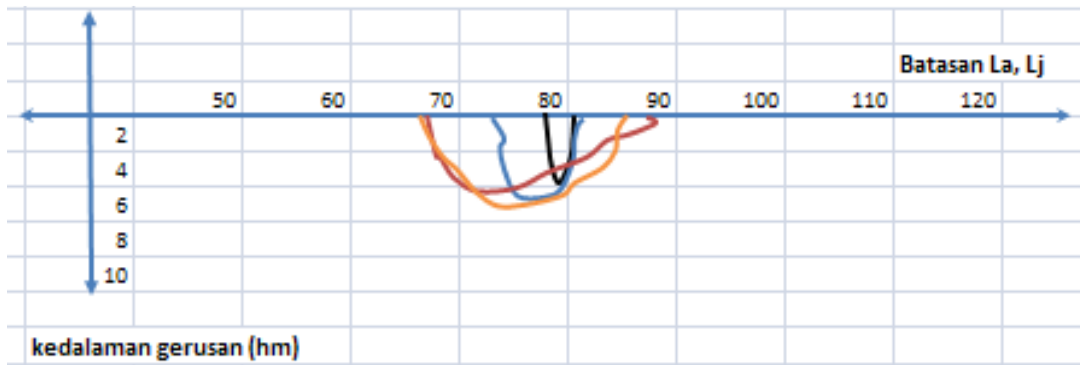
**Gambar 7.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/12), J1



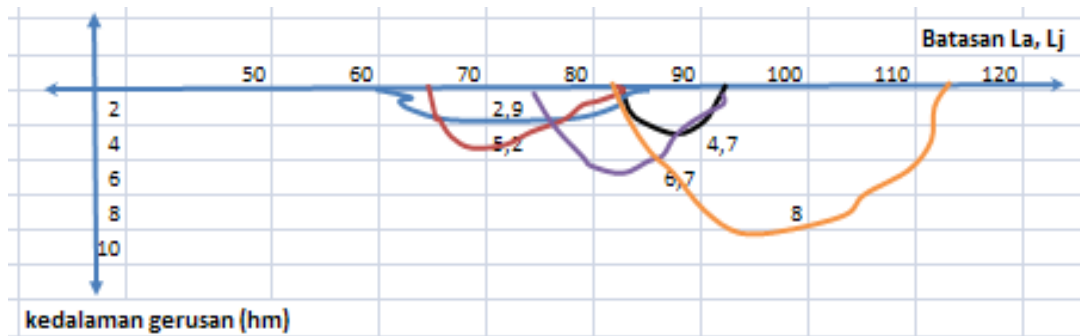
**Gambar 8.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/6), J2



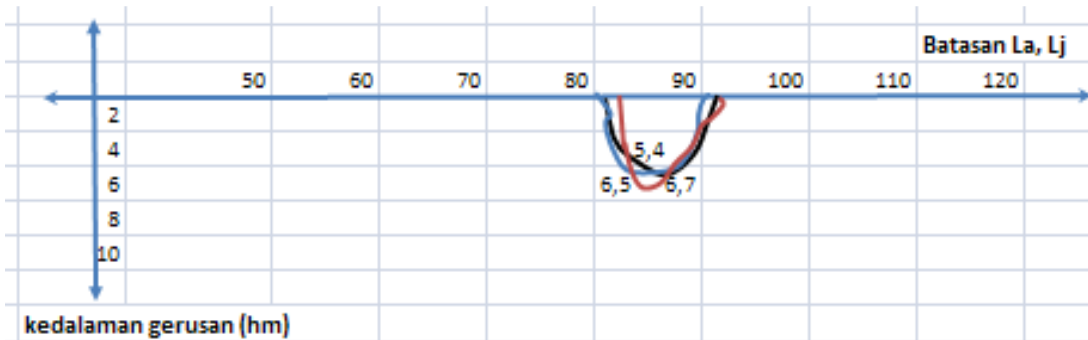
**Gambar 9.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/9), J2



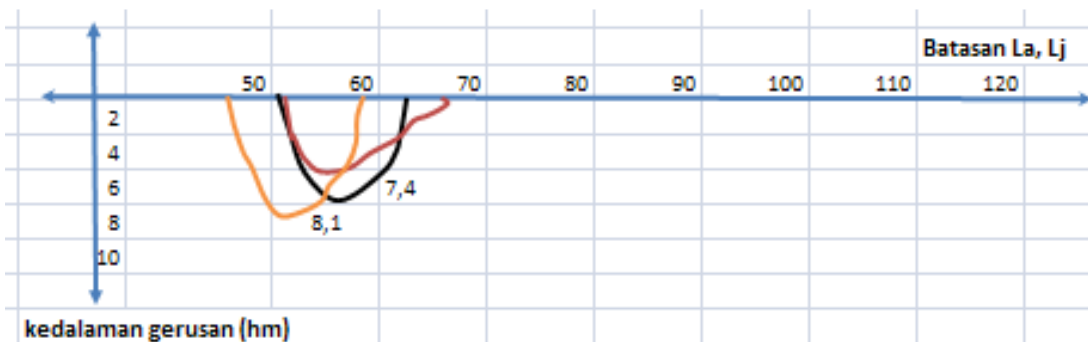
**Gambar 10.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/12), J2



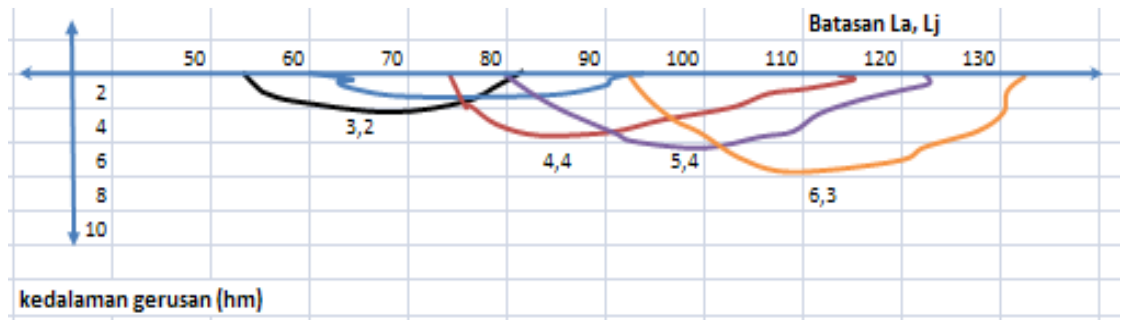
**Gambar 11.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/6), J2



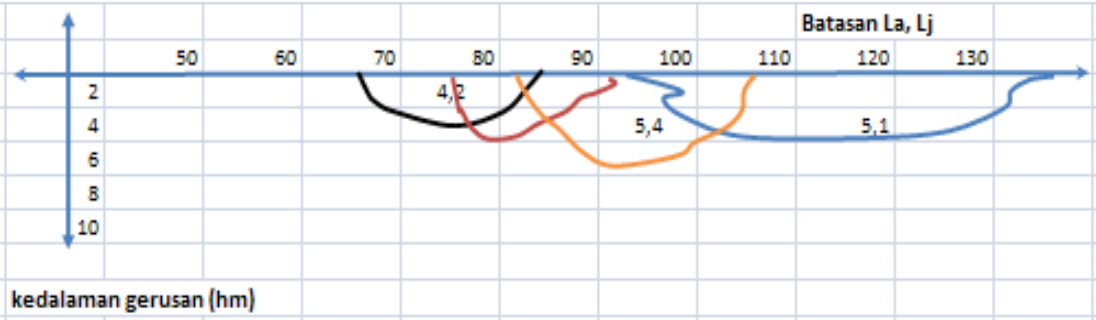
**Gambar 12.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/9), J2



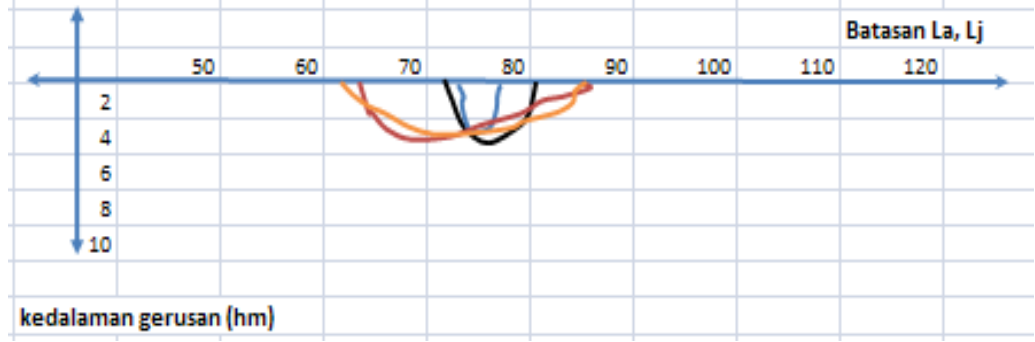
**Gambar 13.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/12), J2



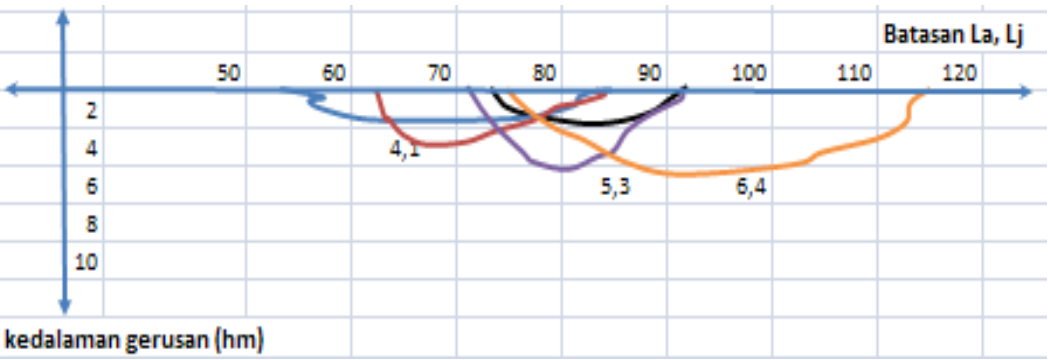
Gambar 14. Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/6), J3



Gambar 15. Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/9), J3

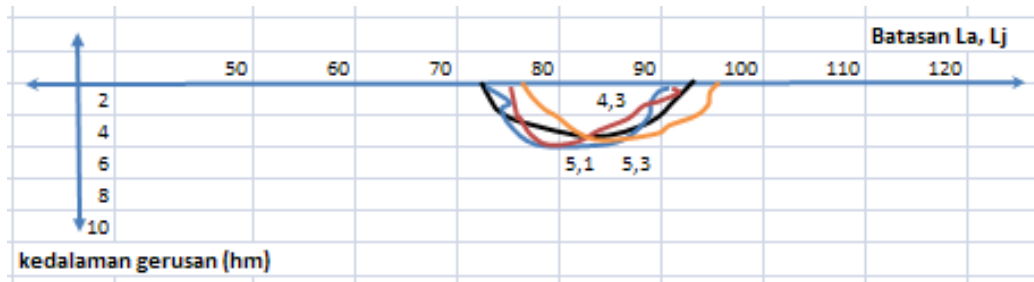


Gambar 16. Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (6/12), J3

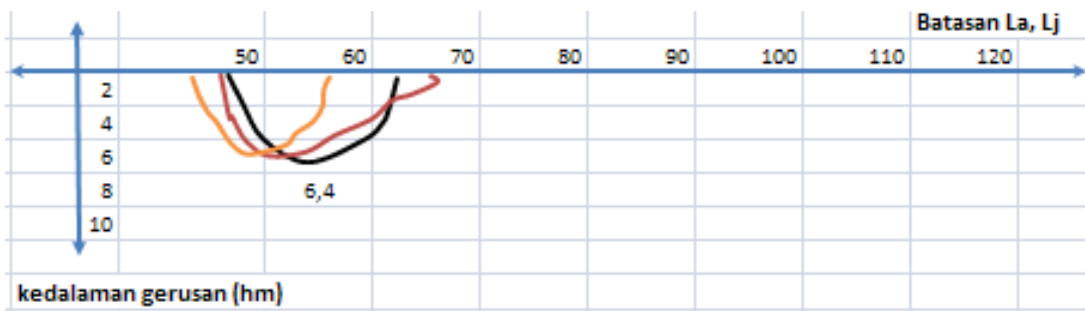


Gambar 17. Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/6), J3

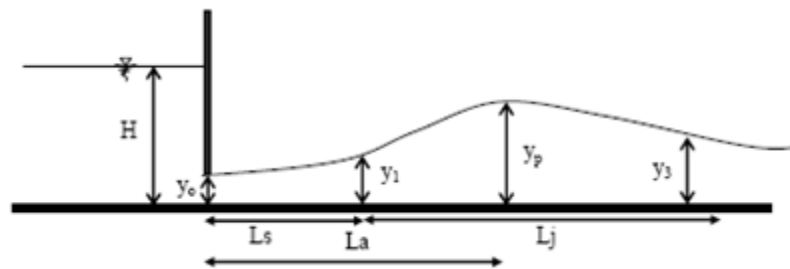




**Gambar 18.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/9), J3



**Gambar 19.** Grafik Pola Gerusan (hm) Terhadap Panjang Loncatan Hidraulik (12/12), J3



**Gambar 20.** Kondisi Aliran Sebelum Dipasang *End Sill*

angka Froude menunjukkan aliran superkritis untuk peningkatan debit ( $Fr = 1,65 - 1,57$ ) karena tidak ada penghalang (*end sill* atau *baffle block*) di hilir pintu (*free flow*); kecepatan aliran meningkat ( $v = 130,7 - 402,3$  cm/detik).

- kedalaman gerusan meningkat ( $hm = 30,67 - 94,44$  mm, menggunakan faktor keamanan 1,5).
- jarak bukaan pintu ke awal loncat air nilainya meningkat ( $La = 66,7 - 91,3$  cm).

Debit, loncatan hidraulik, kecepatan aliran, kedalaman gerusan meningkat merupakan kondisi benar dan normal, dapat terjadi dan terukur pada saat kondisi aliran stabil (pembagian debit aliran saluran 1 dan saluran 2 pada saat tertentu mencapai konstan). Hasil angka Froude menunjukkan aliran superkritis yang berarti bahwa akan selalu terjadi gerusan pada saluran tersebut.

- Pada saat kombinasi bukaan pintu  $a1 = 6$  cm,  $a2 = 9$  cm.
  - Variasi debit (empat debit) mengalami peningkatan ( $Q = 253,86 - 517,54$  l/det); efeknya adalah loncatan hidraulik bervariasi ( $Lj = 120, 81, 98$  dan  $103,7$  cm); angka

Froude menunjukkan aliran superkritis untuk peningkatan debit ( $Fr = 1,61 - 1,43$ ) karena tidak ada penghalang (*end sill atau baffle block*) di hilir pintu (*free flow*); kecepatan aliran bervariasi ( $v = 323, 267, 302, 345$  cm/detik).

- b. Kedalaman gerusan bervariasi (hm = 76, 63, 71, 81 mm menggunakan faktor keamanan 1.5).
- c. Jarak bukaan pintu ke awal loncat air nilainya bervariasi ( $La = 93, 59, 63, 73$  cm).

Variasi loncatan hidraulik, kecepatan aliran, jarak bukaan pintu ke awal loncat air dan kedalaman gerusan terjadi karena adanya ketidakseimbangan pembagian aliran (pembagian aliran belum mencapai konstan/stabil antara saluran 1 dan saluran 2 pada waktu tertentu) sehingga pengukuran kedalaman aliran  $y_1, y_2, y_p$  dan  $y_3$  tidak menunjukkan semakin besar nilai debit akan semakin besar nilai kedalaman aliran loncatan hidraulik. Hasil angka Froude menunjukkan aliran superkritis yang berarti bahwa akan selalu terjadi gerusan pada saluran.

3. Pada saat kombinasi bukaan pintu  $a_1 = 6$  cm,  $a_2 = 12$  cm

- a. Variasi debit (empat debit) mengalami peningkatan ( $Q = 127,21 - 299,92$  l/det); efeknya adalah loncatan hidraulik bervariasi ( $L_j = 95, 91, 80$  cm); angka Froude menunjukkan aliran superkritis untuk peningkatan debit ( $Fr = 1,65 - 1,34$ ) karena tidak ada penghalang (*end sill atau baffle block*) di hilir pintu (*free flow*). kecepatan aliran bervariasi ( $v = 306, 258, 275, 297$  cm/detik).
- b. kedalaman gerusan bervariasi (hm = 72, 61, 64, 69 mm menggunakan faktor keamanan 1.5).
- c. jarak bukaan pintu ke awal loncat air nilainya meningkat ( $La = 52 - 61$  cm).

Variasi loncatan hidraulik, kecepatan aliran dan kedalaman gerusan terjadi karena masih terjadi adanya ketidakseimbangan pembagian aliran sehingga pengukuran kedalaman aliran  $y_1, y_2, y_p$  dan  $y_3$  tidak menunjukkan semakin besar nilai debit akan semakin besar nilai kedalaman aliran loncatan hidraulik. Hasil angka Froude menunjukkan aliran superkritis yang berarti bahwa akan selalu terjadi gerusan pada saluran.

4. Pada saat kombinasi bukaan pintu  $a_1 = 12$  cm,  $a_2 = 6$  cm.

- a. Variasi debit (lima debit) mengalami peningkatan ( $Q = 65,21 - 295,99$  l/det); efeknya adalah loncatan hidraulik bervariasi ( $L_j = 71, 97, 80, 89, 99$  cm); angka Froude menunjukkan aliran superkritis untuk peningkatan debit ( $Fr = 1,79-1,54$ ) karena tidak ada penghalang (*end sill atau baffle block*) di hilir pintu (*free flow*); kecepatan aliran meningkat ( $v = 145,6 - 403,1$  cm/detik).
- b. Kedalaman gerusan meningkat (hm = 34,17 - 94,61 mm menggunakan faktor keamanan 1.5).
- c. Jarak bukaan pintu ke awal loncat air nilainya meningkat ( $La = 58,5 - 78,8$  cm).

Debit, kecepatan aliran, kedalaman gerusan meningkat merupakan kondisi normal, masih terjadi gerusan ditunjukkan oleh kondisi aliran yang superkritis.

5. Pada saat kombinasi bukaan pintu  $a_1 = 12$  cm,  $a_2 = 9$  cm.

- a. Variasi debit (empat debit) mengalami peningkatan ( $Q = 233,76-276,19$  l/det); efeknya adalah loncatan hidraulik meningkat ( $L_j = 95,58 - 98,74$  cm); angka Froude menunjukkan aliran superkritis untuk peningkatan debit ( $Fr = 1,57-1,52$ ) karena tidak ada

penghalang (*end sill* atau *buffle block*) di hilir pintu (*free flow*); kecepatan aliran bervariasi ( $v = 326, 275, 338$  cm/detik).

b. Kedalaman gerusan bervariasi ( $hm = 34,17 - 94,61$  mm) menggunakan faktor keamanan 1.5).

c. Jarak bukaan pintu ke awal loncat air nilainya meningkat ( $La = 62,6 - 66,8$  cm).

Debit dan loncatan hidraulik meningkat merupakan kondisi normal, kecepatan aliran dan kedalaman gerusan bervariasi karena pengaruh gelembung-gelembung udara yang terjadi dalam aliran loncatan hidraulik, masih terjadi gerusan ditunjukkan oleh kondisi aliran yang superkritis.

6. Pada saat kombinasi bukaan pintu  $a_1 = 12$  cm,  $a_2 = 12$  cm.

a. Variasi debit (tiga debit) mengalami peningkatan ( $Q = 250,06 - 301,87$  l/det); efeknya adalah loncatan hidraulik bervariasi ( $L_j = 61, 59, 55$  cm); angka Froude menunjukkan aliran superkritis untuk peningkatan debit ( $Fr = 1,21 - 1,24$ ) karena tidak ada penghalang (*end sill* atau *buffle block*) di hilir pintu (*free flow*); kecepatan aliran bervariasi ( $v = 60, 58, 64$  cm/detik).

b. Kedalaman gerusan bervariasi ( $hm = 91, 88, 96$  mm) menggunakan faktor keamanan 1.5).

c. Jarak bukaan pintu ke awal loncat air nilainya bervariasi ( $La = 42, 45, 38$  cm).

Variasi loncatan hidraulik, kecepatan aliran meningkat, kedalaman gerusan dan jarak bukaan pintu ke awal loncat air karena pengaruh peningkatan gelembung-gelembung udara yang terjadi dalam aliran loncatan hidraulik, masih terjadi gerusan ditunjukkan oleh kondisi aliran yang superkritis. Rekapitulasi

pembahasan selengkapnya ditampilkan dalam **Tabel 1**.

Pada jenis 1 yaitu model pintu dengan apron kosong-locat air di hilir pintu, debit keseluruhan untuk variasi bukaan pintu meningkat/naik (range debit =  $155,86 - 517,54$  l/det; 25 model pengaliran), kecepatan aliran cenderung bervariasi disebabkan adanya aliran *free flow* tanpa peredam energi serta kondisi aliran superkritis, loncatan hidraulik juga cenderung variasi karena peningkatan gelembung udara dan *vortex* (besar), panjang aliran dari awal bukaan pintu ke awal loncatan hidraulik dominan naik (pengaruh aliran superkritis dan kecepatan yang cenderung meningkat), kedalaman gerusan terjadi terlihat dari kondisi aliran superkritis. Dengan cara analisis serupa, rekapitulasi analisis untuk jenis 2 dan jenis 3 ditampilkan dalam **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Pada jenis 2 yaitu model pintu dengan apron kosong dan *end sill*, debit secara keseluruhan untuk variasi bukaan pintu meningkat/naik (range debit =  $155,86 - 517,54$  l/det; 25 model pengaliran). Kecepatan aliran cenderung bervariasi disebabkan adanya *end sill* yang mengurangi kecepatan aliran dan terjadi aliran *backwater* berulang serta kondisi transisi aliran superkritis ke kritis. Loncatan hidraulik juga cenderung variasi karena peningkatan gelembung udara dan *vortex* (kecil) dengan pengaruh *backwater*.

Pada jenis 3 yaitu model pintu dengan apron kosong dan *buffle block*, debit secara keseluruhan untuk variasi bukaan pintu meningkat/naik (range debit =  $155,86 - 517,54$  l/det; 25 model pengaliran), kecepatan aliran dominan variasi disebabkan adanya *buffle block* yang mengurangi kecepatan aliran dan terjadi aliran *backwater* skala besar berulang (bolak-balik) serta kondisi transisi aliran superkritis ke kritis-kondisi kritis ke sub kritis.

**Tabel 1.** Rekapitulasi Pembahasan Terhadap Debit (Q), Kecepatan Aliran (v), Angka Froude (Fr), Loncatan Hidraulik (Lj), Jarak Bukaannya Pintu ke Awal Loncat Air (La) dan Kedalaman Gerusan (hm) Jenis 1

	6/6	6/9	6/12	12/6	12/9	12/12
Debit (Q)	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik
Kecepatan Aliran (v)	Naik	Variasi	Variasi	Naik	Variasi	Variasi
Angka Froude (Fr)	Superkritis	Superkritis	Superkritis	Superkritis	Superkritis	Superkritis
Loncatan hidraulik	Naik	Variasi	Variasi	Variasi	Naik	Variasi
La	Naik	Variasi	Naik	Naik	Naik	Variasi
Kedalaman gerusan	Naik	Variasi	Variasi	Naik	Variasi	Variasi

**Tabel 2.** Rekapitulasi Hasil Pembahasan Terhadap Debit (Q), Kecepatan Aliran (v), Angka Froude (Fr), Loncatan Hidraulik (Lj), Jarak Bukaannya Pintu ke Awal Loncat Air (La) dan Kedalaman Gerusan (hm) Jenis 2

	6/6	6/9	6/12	12/6	12/9	12/12
Debit (Q)	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik
Kecepatan Aliran (v)	Naik	Variasi	Variasi	Naik	Variasi	Variasi
Angka Froude (Fr)	Superkritis	Superkritis	Superkritis	Superkritis	Superkritis	Superkritis & Kritis
Loncatan hidraulik	Naik	Variasi	Variasi	Variasi	Naik	Variasi
La	Variasi	Variasi	Variasi	Variasi	Naik	Variasi
Kedalaman gerusan	Naik	Variasi	Variasi	Naik	Variasi	Variasi

**Tabel 3.** Rekapitulasi Hasil Pembahasan Terhadap Debit (Q), Kecepatan Aliran (v), Angka Froude (Fr), Loncatan Hidraulik (Lj), Jarak Bukaannya Pintu ke Awal Loncat Air (La) dan Kedalaman Gerusan (hm) Jenis 3

	6/6	6/9	6/12	12/6	12/9	12/12
Debit (Q)	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik
Kecepatan Aliran (v)	Naik	Variasi	Variasi	Variasi	Variasi	Variasi
Angka Froude (Fr)	Superkritis & Kritis	Superkritis	Superkritis & Sub Kritis	Superkrit is	Superkritis	Superkritis & Sub Kritis
Loncatan hidraulik	Variasi	Variasi	Turun	Variasi	Naik	Turun
La	Variasi	Variasi	Variasi	Variasi	Naik	Variasi
Kedalaman gerusan	Naik	Variasi	Variasi	Naik	Variasi	Variasi

Loncatan hidraulik juga cenderung variasi ke arah turun (panjang loncatan memendek) karena peningkatan gelembung udara dan berkurangnya *vortex* dengan pengaruh *backwater* skala besar, panjang aliran dari awal bukaan pintu ke awal loncatan hidraulik secara keseluruhan bervariasi (juga karena pengaruh *backwater*), gerusan masih terjadi dengan kedalaman berkurang karena adanya kondisi aliran transisi super ke kritis-kritis ke sub kritis (kedalaman gerusan berkurang sekitar 20-

30% dengan penambahan *baffle block* bila dibandingkan terhadap jenis 1 yaitu apron kosong dan jenis 2 yaitu apron kosong dengan *end sill*.

### **Pola Kedalaman Gerusan Jenis 1, Jenis 2 dan Jenis 3**

Pola kedalaman gerusan dipengaruhi oleh kecepatan dan karakteristik aliran berdasar pada angka Froude (superkritis, kritis, sub kritis).

Penjelasan pola kedalaman gerusan sebagai berikut:

1. Jenis 1: pada **Gambar 2 – Gambar 4** pola gerusan bukaan pintu 6/6 umumnya menyebar dan kedalaman beragam mengikuti debit yang meningkat (maximum = 94 mm), pola gerusan bukaan pintu 6/9 cenderung mulai berdekatan dengan kedalaman meningkat, pola gerusan bukaan pintu 6/12 dominan berkumpul di satu segmen dengan kedalaman rata-rata yang hampir sama. Pada **Gambar 5 – Gambar 7** pola gerusan bukaan pintu 12/6 sedikit menyebar dan kedalaman variasi mengikuti debit yang meningkat, pola gerusan bukaan pintu 12/9 berada pada segmen yang sama dengan kedalaman rata-rata seragam, pola gerusan bukaan pintu 12/12 terletak berdekatan dengan peningkatan kedalaman gerusan (maximum = 96 mm).
2. Jenis 2: pada **Gambar 8 – Gambar 10** pola gerusan bukaan pintu 6/6 umumnya menyebar cukup jauh dan kedalaman beragam mengikuti debit yang meningkat (maximum = 80 mm), pola gerusan bukaan pintu 6/9 cenderung terpisah dengan kedalaman rata-rata hampir sama, pola gerusan bukaan pintu 6/12 dominan berkumpul di satu segmen dengan kedalaman rata-rata yang kecil (maximum = 65 mm). Pada **Gambar 11 – Gambar 13** pola gerusan bukaan pintu 12/6 menyebar dan kedalaman variasi mengikuti debit yang meningkat (maximum = 80 mm), pola gerusan bukaan pintu 12/9 berada pada segmen yang sama dengan kedalaman rata-rata seragam (50 mm), pola gerusan bukaan pintu 12/12 berada dalam satu segmen yang sama dengan peningkatan kedalaman gerusan (maximum = 81 mm).
3. Jenis 3: pada **Gambar 14 – Gambar 16** pola gerusan bukaan pintu 6/6 umumnya menyebar cukup jauh dan

kedalaman beragam mengikuti debit yang meningkat (maximum = 63 mm), pola gerusan bukaan pintu 6/9 masih menyebar dengan kedalaman rata-rata hampir sama (54 mm), pola gerusan bukaan pintu 6/12 dominan berkumpul di satu segmen dengan kedalaman rata-rata yang kecil (maximum = 40 mm). Pada **Gambar 17 – Gambar 19** pola gerusan bukaan pintu 12/6 menyebar dan kedalaman variasi mengikuti debit yang meningkat (maximum = 64 mm), pola gerusan bukaan pintu 12/9 berada pada segmen yang sama dengan kedalaman rata-rata seragam (51 mm), pola gerusan bukaan pintu 12/12 berada dalam satu segmen dengan peningkatan kedalaman gerusan (maximum = 64 mm).

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Kedalaman gerusan (faktor keamanan pengali untuk ke dua jenis model = 1,5) menggunakan *apron-end sill* berada dalam range 26 mm – 82 mm (gerusan berkurang sekitar 10%-15% dengan adanya pemasangan *end sill*) sedangkan kedalaman gerusan menggunakan *apron-buffle block* berada dalam range 21 mm – 64 mm (gerusan berkurang sekitar 20% - 30% dengan adanya pemasangan *buffle block*).
2. Pola gerusan pada saat debit pengaliran semakin meningkat bentuknya beragam, bisa terletak dalam satu segmen (satu lokasi) bisa pula terletak berjauhan (tersebar). Ini dapat terjadi karena adanya pengaruh kecepatan aliran, karakteristik aliran (superkritis, kritis dan sub kritis) serta kedalaman aliran ( $y_1, y_2, y_3$ ).

## DAFTAR PUSTAKA

- Andar, Jhonson dkk. 2007. Tinjauan Jarak Awal Loncat Air Akibat Pereltakan End Sill pada Pintu Air Geser Tegak (Sluice Gate).

- Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 2 Tahun XII. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta.
- Breusers, H.N.C. dan Raudkivi A.J., 1991, *Scouring*, IAHR Hydraulics Structure Design Manual, Rotterdam, AA' Balkema
- Chatterjee, M., Chatterjee, S.S. dan Ghosh, S'N., 1994, *Local Scour Due To Submerged Horizontal Jet*, *Journal of Hydraulic Engineering* Vol. 120 No. 8 page 973-991.
- Hoffmans, G.}.C.M. dan Verheij, H]., 1997, *Scour Manual*, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Legono, D., 1990, Gerusan Pada Bangunan Sungai, PAU Ilmu-Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta
- Puspitarini, Silvy dkk . 2002. Model Pengendalian Gerusan Lokal Akibat aliran Superkritik di Hilir Pintu Air. *Jurnal Tekno sains* Volume 15 No. 3 pp 419-433. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Ranga Raju, K.G., 1986, Aliran Melalui Salur Terbuka, Erlangga, Jakarta.
- Subramanya, K 1986, Flow in Open Channels, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Vischer, D.L. dan Hager, W.H., 1995, *Energy Dissipators*, IAHR Hydraulic Structure Design Manual Rotterdam, A. Balkema.
- Qmar, S. 2003. Gerusan lokal Dasar Saluran pada Bukaan di Hilir Pintu Sorong. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang.