

PERILAKU HIDRAULIK *FLAP GATE* PADA ALIRAN BEBAS DAN ALIRAN TENGGELAM

Zufrimar¹, Budi Wignyosukarto² dan Istiarto³

¹Program Studi Teknik Sipil, STT-Payakumbuh, Jl. Khatib Sulaiman Payakumbuh
Email : zufrimar_me@yahoo.com

²Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM, Jl. Grafika 2 Yogyakarta
Email : budiws@ugm.ac.id

³Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM, Jl. Grafika 2 Yogyakarta
Email : istiarto@ugm.ac.id

ABSTRAK

Kondisi muara sungai umumnya bertopografi datar, jauh dari pemukiman penduduk serta dipengaruhi pasang surut air laut. Di daerah seperti ini penggunaan pintu geser atau pintu sejenis yang dilakukan dengan tenaga manusia tidak sesuai. Pada saat muka air dari hulu tinggi pintu harus di buka dan pintu harus di tutup saat muka air hilir naik. Kinerja pintu dipengaruhi oleh perilaku aliran, sehingga perlu memahami hidraulika aliran yang terjadi di sekitar pintu (*flap gate*). Penelitian hidraulika aliran menggunakan model *flap gate* berbentuk segi empat yang ditempatkan pada *flume* di laboratorium dengan tinjauan terhadap kondisi aliran bebas dan aliran tenggelam. Pada kondisi aliran bebas dilakukan pengujian dengan 10 variasi kisaran debit dengan masing-masing 3 atau 4 perubahan kedalaman hilir, sedangkan pada kondisi aliran tenggelam dilakukan pengujian dengan 8 variasi kisaran debit dengan masing-masing 10 perubahan kedalaman hilir. Parameter yang diukur adalah kedalaman air pada titik-titik di sebelah hulu dan hilir *flap gate* serta jaraknya terhadap as pintu (engsel). Pengukuran kedalaman menggunakan *point gauge*. Analisis pada penelitian ini didekati dengan persamaan konservasi energi, konservasi momentum dan keseimbangan momen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit yang mengalir dan sudut bukaan yang terjadi pada pintu menyebabkan perubahan aliran bebas menjadi aliran tenggelam. Gaya angkat yang semakin besar pada aliran tenggelam mengakibatkan bukaan pintu yang semakin besar. Penambahan kedalaman muka air hilir mengakibatkan semakin besar angka *Froude* tepat di hulu loncat air dan memperkecil jarak loncat air.

Kata kunci: Hidraulik *flap gate*, aliran bebas, aliran tenggelam, gaya angkat.

1. PENGANTAR

Kondisi muara sungai umumnya bertopografi datar, jauh dari pemukiman penduduk serta dipengaruhi pasang surut air laut. Di daerah seperti ini penggunaan pintu geser atau pintu sejenis yang dilakukan dengan tenaga manusia tidak sesuai. Pada saat muka air dari hulu tinggi, pintu harus dibuka, sehingga bila letak pintu jauh dari pemukiman akan menyulitkan dalam pengoperasiannya. Oleh karena itu pemilihan pintu klep otomatis (*flap gate*) cocok digunakan untuk kondisi tersebut.

Flap gate lebih dikenal sebagai pintu klep otomatis. Pengoperasian pintu ini dapat membuka dan menutup secara otomatis akibat perbedaan tinggi muka air di hulu dan di hilir bangunan. Letak pintu klep dapat diatur untuk memasukkan air pada waktu pasang dan menahan pada waktu surut atau sebaliknya, tergantung kebutuhan. Klep dapat dipasang supaya menahan air di saluran dan di lahan. Bila klep membuka ke dalam, pintu terbuka pada waktu pasang dan tertutup pada waktu surut sehingga air yang telah masuk tidak bisa keluar. Klep juga dapat dipasang untuk membuang air dari saluran. Bila klep membuka ke luar, air tidak bisa masuk pada waktu pasang, tapi dibuang pada waktu surut. Proses buka tutup pintu ini sangat dipengaruhi oleh keseimbangan pada strukturnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari aliran yang melewati *flap gate* dan mengetahui perubahan aliran yang melewati *flap gate* sehingga dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pintu air di lapangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Persamaan Energi

Energi yang terkandung di dalam satu satuan berat air yang mengalir di dalam saluran terbuka terdiri dari tiga bentuk yaitu energi kinetik, energi tekanan dan energi elevasi diatas garis referensi. Energi kinetik pada suatu tampang adalah $V^2/2g$. Energi tekanan di sepanjang garis kemiringan yang lurus pada suatu titik yang terendam adalah jarak vertikal dari muka air tersebut yaitu sebesar y , yang biasanya untuk menunjukkan tinggi tekanan adalah $y = p/\gamma$. Energi elevasi merupakan jarak vertikal dari garis referensi kedasar saluran. Jadi energi total pada setiap tampang disaluran terbuka adalah (Triatmodjo, 1996).

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} \tag{1}$$

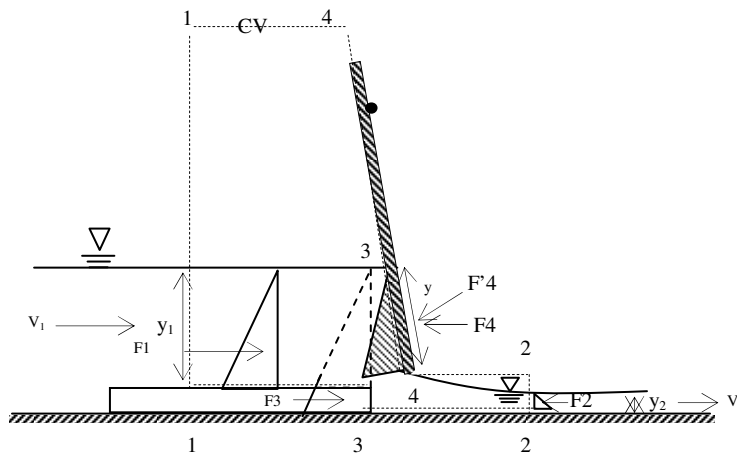
Persamaan Momentum

Momentum suatu partikel atau benda : Perkalian massa (m) dengan kecepatan (V). Partikel-partikel aliran fluida mempunyai momentum. Oleh karena kecepatan aliran berubah baik dalam besarnya maupun arahnya, maka momentum partikel-partikel fluida juga akan berubah. Menurut hukum Newton II, diperlukan gaya untuk menghasilkan perubahan tersebut yang sebanding dengan besarnya kecepatan perubahan momentum. Gaya dapat terjadi karena adanya kontak antara fluida dengan bidang batas. Bentuk persamaan momentum yaitu (French, 1986) :

$$F_1' + F_3' - F_2' - \Sigma f_f' - P_f' = \frac{\gamma}{g} Q(\beta_2 \bar{u}_2' - \beta_1 \bar{u}_1') \tag{2}$$

dengan : F_1' dan F_2' = gaya tekanan pada penampang 1 dan 2, F_3' = komponen $W' \sin \theta$, W' = berat air antara kedua penampang, γ = berat jenis air, θ = kemiringan dasar saluran, $\Sigma f_f'$ = jumlah kecepatan rata-rata antara kedua penampang, P_f' = gaya yang tidak diketahui antara kedua penampang, β_1 dan β_2 = koefisien koreksi momentum, \bar{u}_1' dan \bar{u}_2' = kecepatan rata-rata penampang 1 dan 2

Untuk *flap gate*, persamaan momentum pada kontrol volume bagian 1 dan 2 adalah :



Gambar 1. Gaya-Gaya pada *Flap Gate*

$$F1 + F3 - F2 - F4 = \rho Q(V_2 - V_1) \tag{3}$$

Keseimbangan Momen

Proses buka tutup pintu pada aliran tenggelam dipengaruhi oleh tekanan air dari hulu maupun hilir serta berat sendiri pintu yang menimbulkan gaya pada bidang pintu. Gaya-gaya yang terjadi dapat di ilustrasikan pada Gambar 2 dengan bentuk persamaan :

$$F_1 = 0.5 \cdot \gamma \cdot d_1 \cdot w \cdot b_1 \quad M_r = F_1 \cdot (L - b_1/3) \tag{4}$$

$$F_s = 0.5 \cdot \gamma \cdot d_s \cdot w \cdot b_s \quad M_s = F_s \cdot (L - b_s/3) \tag{5}$$

$$M_g = W \cdot x$$

6

dengan : d_1 dan d_s = jarak vertikal pusat berat pintu terhadap muka air hulu dan hilir, w = lebar pintu, b_1 dan b_s = tinggi miring bagian pintu terendam akibat tekanan air hulu dan hilir, W = berat pintu dibawah engsel.

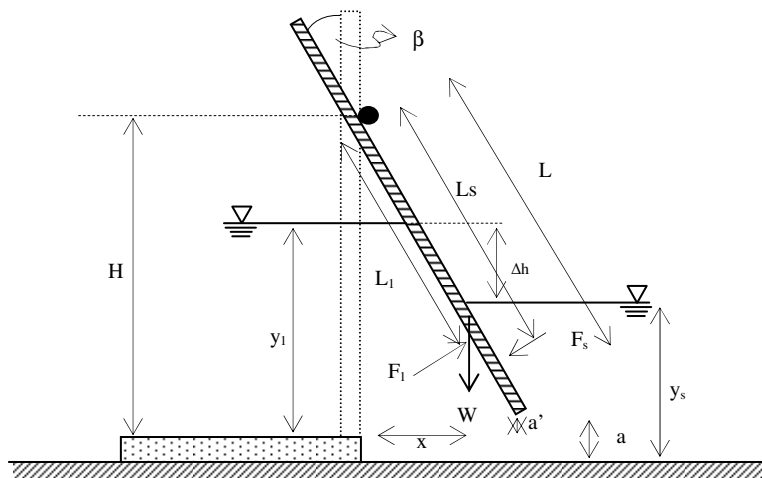
Maka keseimbangan momen untuk menghitung gaya angkat pada pintu adalah :

$$M_b = -M_r + M_s + M_g \pm M_e$$

$$M_e = 0 \rightarrow M_b = -M_r + M_s + M_g$$

7

M_r = Momen akibat air dari hulu, M_s = Momen akibat air dari hilir, M_g = Momen akibat berat pintu di bawah engsel, M_b = Momen angkat pada posisi daun pintu tenggelam, M_e = Momen pengaruh gesekan engsel = 0 (di anggap licin sempurna).



Gambar 2. Skema Gaya pada Pintu Aliran Tenggelam

Persamaan Aliran Bebas

Di hulu dan vena contracta digunakan persamaan konservasi energi, sehingga diperoleh persamaan debit, Subramanya (1986).

$$Q = C_d \cdot a \cdot B \cdot \sqrt{2g(y_1 - C_c \cdot a)}$$

8

$$\text{dengan } C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 - (C_c \cdot a)^2 / y_1^2}}$$

9

Di hilir menggunakan persamaan konservasi momentum

$$\frac{y_3}{y_j} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_j^2} - 1 \right)$$

10

Persamaan Aliran Tenggelam

Perubahan aliran pada pintu yang dipengaruhi kedalaman aliran hilir dapat menyebabkan aliran tenggelam. Ini disebabkan jika kedalaman hilir lebih besar dari perkalian bukaan pintu dan koefisien kontraksi. Daerah hulu hingga vena contracta pada aliran tenggelam, menggunakan persamaan konservasi energi

$$Q = C_d \cdot a \cdot B \cdot \sqrt{2g(y_1 - y_s)}$$

11

Daerah hilir menggunakan persamaan konservasi momentum

$$\frac{y_2}{y_s} = \left(\sqrt{1 + Fr_s^2} \left(1 - \frac{y_2}{y_s} \right) \right)$$

12

3. CARA PENELITIAN

Penelitian tentang Kajian Hidraulik *Flap Gate* pada Aliran Bebas dan Aliran Tenggelam, dilaksanakan di Laboratorium Hidrologi dan Hidraulika Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pengukuran parameter yang mempengaruhi hidraulik pintu menggunakan *point gauge* dan model pintu yang dipasang pada *Standard Tilting Flume*.

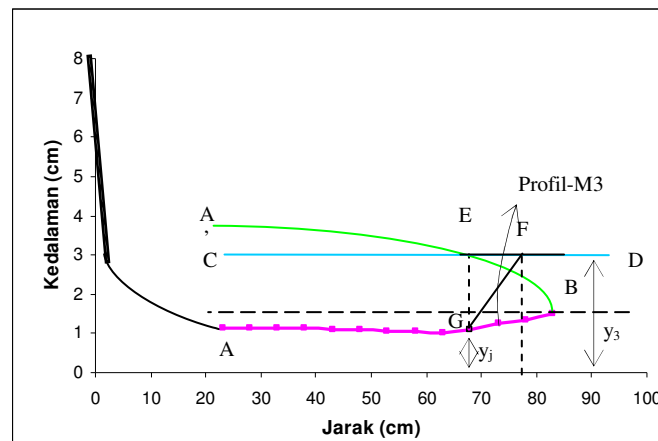
Model dibuat dari kayu yang dilengkapi engsel dengan panjang 54 cm tingg 60 cm dan ketebalan 2.4 cm. Perlakuan pada model dengan perubahan debit sebanyak 10 variasi dan masing-masing 3 atau 4 variasi perubahan kedalaman hilir pintu pada aliran bebas dan 8 variasi debit dengan masing-masing 10 variasi perubahan kedalaman hilir. Besaran debit diperoleh dari pompa kapasitas 15 l/s dan variasi yang masuk ke *flume* diatur menggunakan kran.

Variabel yang akan diukur dalam penelitian ini adalah kedalaman aliran di hulu dan hilir pintu dalam kondisi bebas maupun tenggelam, sudut bukaan pintu terhadap bidang horizontal serta jarak terhadap as pintu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil muka air

Perhitungan profil aliran yang terjadi diwakili pada debit $Q = 3454.6 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sudut bukaan pintu yang terjadi $\beta = 1^\circ$. Kedalaman aliran pada hilir pintu di ukur setiap jarak 5 cm, dimulai nol pada as pintu hingga terjadinya loncat air seperti terlihat pada Gambar 3.

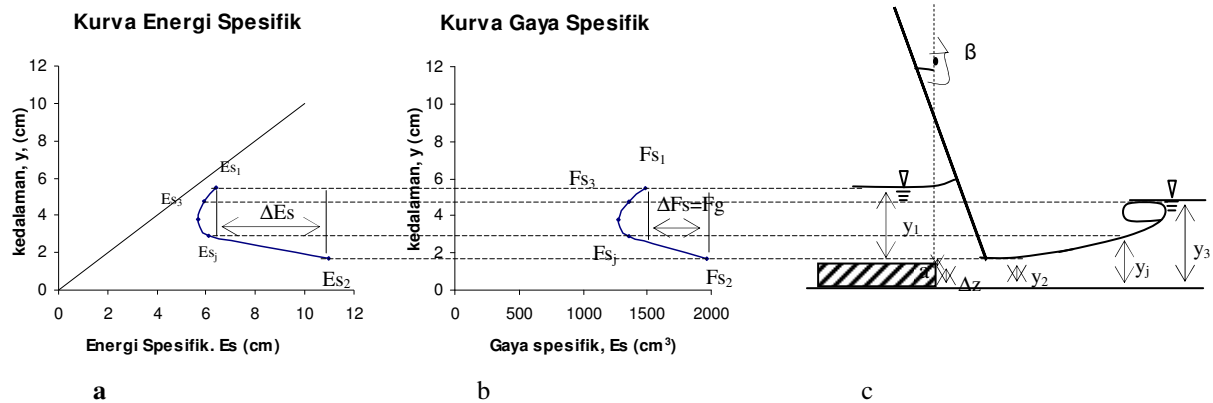


Gambar 3. Profil Permukaan Aliran

Berdasarkan pengukuran diperoleh profil aliran yang terjadi pada *flap gate* adalah profil M3 pada hilir pintu. Dengan menaikkan kedalaman hilir atau menaikkan kurva CD, loncatan akan bergeser ke hulu. Kedalaman hilir dapat dinaikkan sampai sedemikian hingga loncatan akhirnya hilang didepan pintu air. Dengan menurunkan kedalaman hilir atau menurunkan kurva CD, loncatan akan bergeser kehilir.

Energi Spesifik dan Gaya Spesifik pada *Flap Gate*

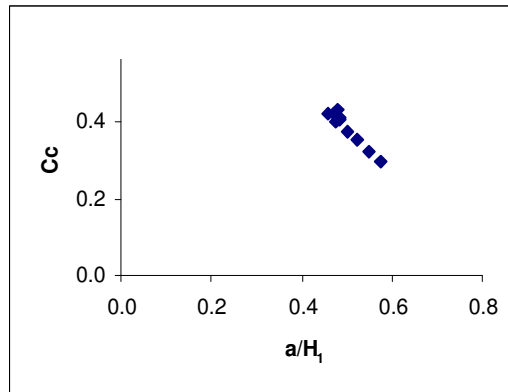
Kurva energi spesifik dan gaya spesifik yang terjadi pada hulu *flap gate* dapat di lihat pada Gambar 4. Tampak pada Gambar 4a, tinggi energi dihitung dari dasar saluran, untuk y_1 5.5 cm mempunyai tinggi energi sebesar 6.4 cm dan y_2 1.7 cm tingginya 10.9 cm dengan selisih energi sebesar 4.6 cm. Dengan adanya beda elevasi sebesar 3 cm memberikan tinggi energi total pada y_1 adalah 9.4 cm, namun masih lebih kecil dari energi di *vena contracta* dengan selisih sebesar 1.6 cm. Kedalaman awal loncat air y_j (*initial depth*) selalu lebih kecil dari kedalaman setelah loncat air y_3 yang disebut dengan kedalaman turunan (*sequent depth*). Pada y_j 2.9 cm energinya 6.1 cm dan y_3 4.75 energinya 5.9 cm dengan selisih energi 0.14 cm. Ini menunjukkan energi pada kedalaman hulu pintu dan pada kedalaman *vena contracta* terdapat kehilangan energi, begitu juga pada proses loncat air. Kehilangan energi sebesar ΔE disebut dengan *head loss*. Pada Gambar 4b, dengan menggunakan persamaan momentum, gaya spesifik di hulu pintu lebih kecil dari pada gaya spesifik di *vena contracta*, dimana F_s hulu 1489.8 cm^3 dan F_s *vena contracta* 1970.6 cm^3 . Pada proses loncat air gaya spesifik *initial depth* hampir sama dengan gaya spesifik pada *sequent depth*.



Gambar 4. Energi Spesifik dan Gaya Spesifik pada hulu Flap Gate

Pengaruh Bukaannya Pintu Muka Air Hulu Terhadap Koefisien Kontraksi dan Koefisien Debit

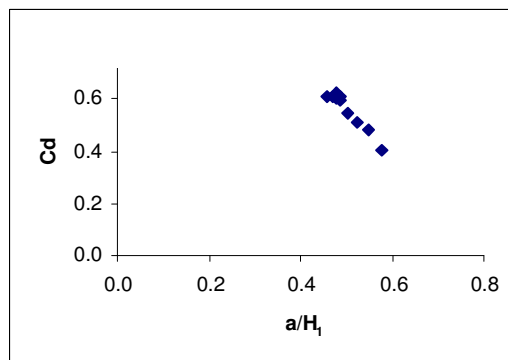
Koefisien kontraksi (C_c) merupakan rasio *vena contracta* (y_2) dengan bukaan pintu (a). Koefisien kontraksi merupakan parameter penting dalam pengoperasian pintu air, karena mempengaruhi efisiensi air yang melewati pintu air. Gambar 5 menunjukkan hubungan koefisien kontraksi dengan rasio energi total di hulu pintu terhadap bukaan pintu.



Gambar 5. Grafik Koefisien Kontraksi pada Bukaannya Pintu Berbeda

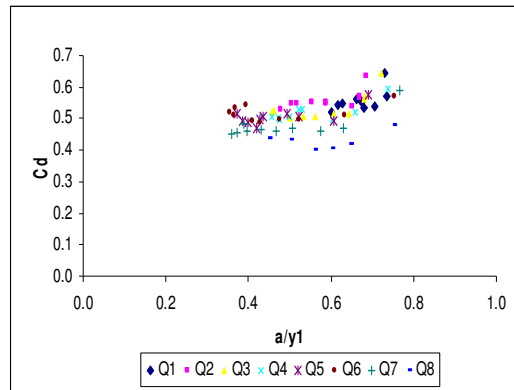
Dari Gambar 5 tampak koefisien kontraksi akan berkurang dengan bertambahnya rasio a/H_1 . Hal ini berarti semakin besar energi yang terjadi di hulu pintu karena pertambahan debit akan menyebabkan kontraksi yang semakin besar pada pintu. Dari Gambar tersebut juga terlihat koefisien kontraksi rata-rata yang terjadi pada pintu adalah 0.4. Nilai ini lebih kecil dari hasil penelitian Henderson (1966) dalam Rajaratnam dan Subramanya (1967) yaitu 0.61.

Koefisien debit (C_d) merupakan terhadap rasio bukaan pintu dengan kedalaman muka air hulu. C_d dapat dihitung dengan Persamaan 8 yang tampak pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Koefisien Debit pada Bukaannya Pintu Berbeda Aliran Bebas

Dari Gambar 6 tampak bahwa koefisien debit berkurang seiring berkurangnya rasio bukaan pintu dan kedalaman muka air hulu. Koefisien debit rerata pada aliran bebas adalah 0.41. Sedangkan koefisien debit rerata pada aliran tenggelam tampak pada Gambar 7.



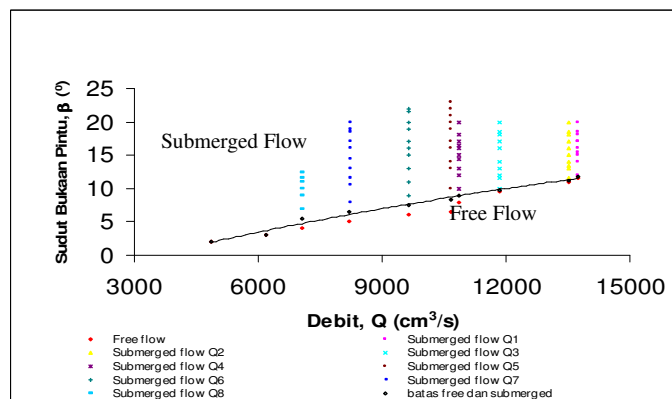
Gambar 7. Grafik Koefisien Debit pada aliran tenggelam

Pada Gambar 7 terlihat koefisien debit pada aliran tenggelam cukup menyebar dan tidak sistematik. Ini sesuai dengan penelitian Rajaratnam dan Subramanya (1967) yang menyatakan bahwa koefisien debit untuk aliran terendam mengalami penyebaran data yang tidak sistematik. Berdasarkan data tersebut C_d berkisar antara 0.398 – 0.643.

Pengaruh Perubahan Debit Terhadap Bukaan Pintu

Pada saat *flap gate* dioperasikan dengan berbagai perubahan debit, akan terjadi perubahan bukaan sudut terhadap bidang horizontal. Perubahan ini akan menyebabkan peralihan aliran bebas dan aliran tenggelam yang disebut juga dengan batas modular. Pada saat aliran bebas, dihilir pintu terjadi aliran superkritis menjadi aliran subkritis sehingga terjadi loncat air. Apabila kedalaman muka air hilir dinaikkan, loncat hidraulik akan terdorong ke hulu, hingga suatu saat akan merendam *vena contracta* sehingga terjadi aliran tenggelam yang menyebabkan kondisi hilir mempengaruhi kondisi hulu *flap gate*.

Berdasarkan hasil percobaan dapat dibuat grafik hubungan perubahan debit terhadap perubahan bukaan sudut baik aliran bebas maupun aliran tenggelam. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



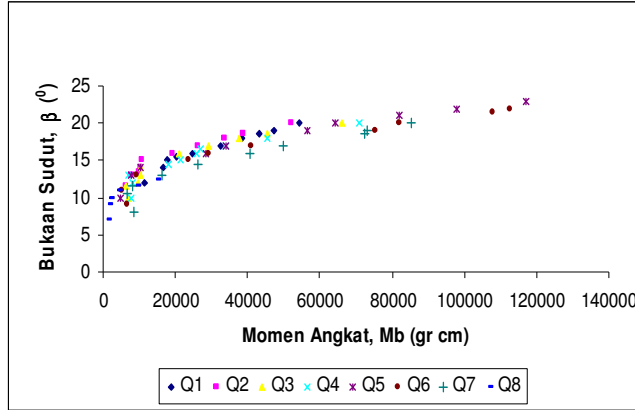
Gambar 8. Grafik Perubahan Debit terhadap Bukaan Pintu

Pada Gambar 8 tampak bahwa setiap perubahan debit mempengaruhi sudut bukaan pintu yaitu semakin besar debit, sudut bukaan pintu semakin besar. Simulasi perubahan sudut juga dipengaruhi perubahan kedalaman muka air hilir. Dari gambar tersebut juga tampak bahwa untuk satu debit, pada aliran bebas mempunyai satu data sudut bukaan, sedangkan pada aliran tenggelam mempunyai data sudut bukaan yang banyak. Ini terjadi karena pada aliran bebas, perubahan muka air hilir tidak mempengaruhi sudut bukaan pintu, namun sebaliknya pada aliran tenggelam.

Batas aliran bebas (*free flow*) dan aliran tenggelam (*submerged flow*) digambarkan dengan garis regresi yang terdapat pada Gambar 8.

Pengaruh Bukaannya Sudut Terhadap Momen Angkat pada Aliran Tenggelam

Momen pada pintu akibat tekanan air dari hulu (M_r) dapat di hitung dengan Persamaan 4, sedangkan momen akibat tekanan air dari hilir (M_s) dapat dihitung dengan Persamaan 5. Momen akibat berat pintu dihitung dengan Persamaan 6 di mana berat pintu $W = 7235.9$ g. Perubahan momen angkat terhadap bukannya sudut dapat dilihat pada Gambar 9.

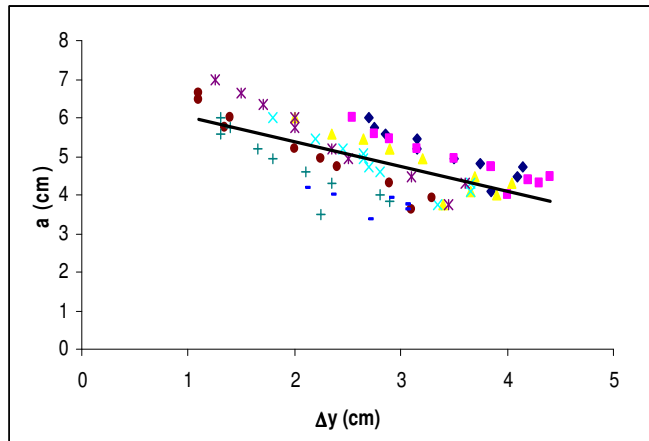


Gambar 9. Grafik Hubungan Momen Angkat terhadap Bukaannya Sudut

Dari Gambar 9 tampak bahwa semakin besar bukannya sudut yang terjadi pada pintu, momen angkat yang terjadi juga semakin besar. Ini sesuai dengan hukum Archimedes bahwa semakin besar gaya angkat ke atas menyebabkan benda semakin terapung. Perubahan gaya angkat ini ditunjukkan oleh perubahan bukannya sudut yang semakin besar.

Pengaruh Perbedaan Muka Air terhadap Tinggi Bukaannya Pintu

Pada saluran yang mempunyai hambatan seperti pintu akan terdapat perbedaan muka air (Δy) yang terjadi antara hulu dan hilir pintu tersebut. Perbedaan muka air ini dapat digambarkan terhadap tinggi bukannya pintu (a) seperti Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Δy dan a

Dari Gambar 10 tampak bahwa hubungan perbedaan muka air terhadap tinggi bukannya pintu berbanding terbalik. Ini berarti semakin kecil perbedaan muka air, tinggi bukannya pintu semakin besar. Hubungan ini di regresi dalam bentuk garis lurus.

Pengaruh Tekanan Air dan Berat Pintu pada saat Pintu mulai Membuka

Kondisi sesaat yang terjadi pada *flap gate* akibat tekanan air baik dari hulu maupun hilir serta berat sendiri dapat dianggap zat cair dalam keadaan diam. Apabila aliran dari hilir tidak mempengaruhi pintu (aliran bebas), maka gaya yang bekerja adalah tekanan air dari hulu dan berat sendiri pintu. Pada kondisi terdapat aliran dari hilir yang mempengaruhi pintu (aliran tenggelam), gaya yang bekerja berupa gaya tekanan hulu, tekanan hilir dan berat sendiri pintu. Pintu akan mulai membuka dengan adanya perbedaan tekanan hulu dan hilir setinggi $\Delta H (H_2 - H_1)$ yang dapat dihitung dengan Persamaan 13 dan 14.

$$p_1(y - H_1/3) - W.x = 0 \quad 13$$

$$p_1(y - H_1/3) - W.x - p_2(y - H_2/3) = 0 \quad 14$$

dimana : p_1 dan p_2 = tekanan dari hulu dan hilir; H_1 dan H_2 = tinggi muka air hulu dan hilir; y dan x = jarak vertikal dan horizontal titik berat pintu terhadap engsel; W = berat pintu.

Berdasarkan Persamaan 13 dan 14 dan didukung data-data pintu dan kondisi aliran dapat dihitung tinggi muka air yang menyebabkan pintu mulai membuka. Pada aliran bebas, pintu akan mulai membuka pada tinggi muka air hulu $H_1 = 0.75$ cm. Untuk aliran tenggelam, perbedaan H_1 dan H_2 (ΔH) sebesar 0.24 cm akan memberikan perubahan pintu mulai membuka.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kajian hidraulik flap gate pada aliran bebas dan aliran tenggelam adalah :

1. Perubahan aliran bebas menjadi aliran tenggelam dipengaruhi oleh debit yang mengalir dan sudut bukaan yang terjadi pada pintu.
2. Koefisien kontraksi yang terjadi semakin berkurang seiring bertambahnya rasio bukaan pintu dan tinggi muka air hulu. Koefisien kontraksi rerata yang diperoleh pada penelitian ini adalah 0.4. Koefisien debit rerata adalah 0.41.
3. Penambahan kedalaman muka air di hilir akan memperkecil kedalaman awal loncat air yang mengakibatkan semakin besarnya angka Froude yang terjadi tepat di hulu loncat air.
4. Gaya angkat yang terjadi pada pintu disebabkan oleh perubahan bukaan pintu yang semakin besar.
5. Semakin besar tinggi bukaan pintu yang terjadi menyebabkan selisih kedalaman muka air hulu dan kedalaman muka air hilir pintu semakin kecil serta kecepatan dibawah pintu semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- French, R. H., 1986, *Open Channel Hydraulics*, International Edition, McGraw – Hill, Singapore
- Rajaratnam, N., and Subramanya, K., 1967, Flow Equation For The Sluice Gate, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 93 (IR3), 167 – 186
- Subramanya, K., 1986, *Flow In Open Channels*, First Revised Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi
- Triatmodjo, B., 1996, *Hidraulika I*, Beta Offset, Yogyakarta
- Triatmodjo, B., 1996, *Hidraulika II*, Beta Offset, Yogyakarta