

## GAYA ANGKAT AIR TERHADAP BENDUNG

Oleh :

Dr. Ir. Sunjoto, Dip.HE. \*)

### Intisari

Bangunan air melintang sungai pada umumnya bertumpu pada tanah fondasi yang lolos air hingga akan terjadi rembesan air di bawah bangunan tersebut. Keadaan ini akan menyebabkan tekanan hidrostatis yang akan memperlemah stabilitas bendung dan kemungkinan dapat pula terjadi piping yang dapat menyebabkan tanah dasar fondasi keropos. Dalam analisis stabilitas konstruksi bangunan tersebut perlu dipilih diagram tekanan yang dapat dihitung dari berbagai metode. Dalam tulisan ini diuraikan teori dasar serta berbagai asumsi dari metode Bligh dan Lane yang berpijak pada asumsi bahwa lintasan berupa satu garis pada batas bangunan dengan tanah fondasi, Khosla beranggapan bahwa aliran melalui seluruh tampang tanah di bawah bangunan dan menyelesaikannya dengan cara sketching method serta Har memanfaatkan transformasi Schwartz-Christoffel. Untuk melihat perbedaan hasil dari berbagai metode tersebut diuji dengan simulasi numerik dengan data masukan untuk bangun dan dimensi konstruksi yang cukup sederhana namun memenuhi tingkat kepastian dalam pelaksanaan.

### Pendahuluan

Dalam perancangan suatu bangunan air melintang sungai dalam hal ini bendung akan terjadi rembesan air di bawah bangunan dengan dampak berupa piping dan uplift pressure. Piping dapat terjadi bila gradien hidraulik cukup besar dan gradasi butiran sejenis, hingga tidak terjadi self-filtration hingga butiran berdiameter lebih kecil akan lepas meninggalkan lokasi semula dengan akibat serius yaitu tanah fondasi menjadi berongga dan daya dukungnya menurun. Untuk menghindari keadaan tersebut perlu diadakan rekayasa pengatusan untuk menciptakan self-filtration. Uplift pressure adalah tekanan air ke atas akibat gaya angkat air yang berakibat stabilitas konstruksi menurun. Sampai saat ini analisis uplift-

pressure berangkat dari hukum Hukum Archimides namun dengan anggapan yang berbeda hingga memberikan besaran yang bervariasi untuk keadaan yang sama. Dalam makalah ini dibahas berbagai metode perhitungan dalam menentukan besaran uplift-pressure tersebut dengan mengujinya menggunakan data masukan sebagai pembandingan.

### Metode Bligh dan Lane

Kedua peneliti tersebut mengajukan teorinya dengan berasumsi bahwa aliran air merayap melalui lintasan batas antara dasar fondasi bendung dengan tanah tempat bangunan tersebut bertumpu. Metode ini sering disebut "weight creep ratio". Weight creep ratio adalah perbandingan antara panjang rayapan-air dengan tinggi tekanan air dari dua tempat yang ditinjau, atau sama dengan kebalikan dari gradien

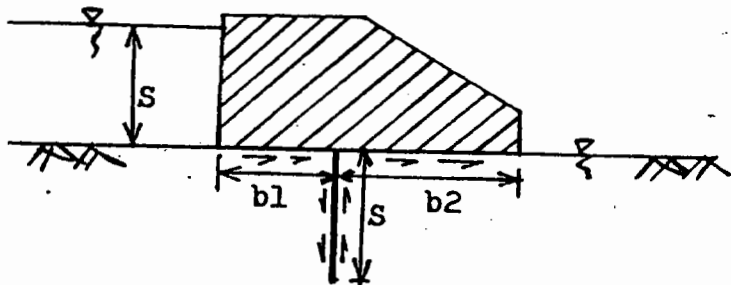
\*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.

hidraulik dan menurut Bligh dan Lane (dalam USBR, 1973) :

$$c = \frac{1}{i} = \frac{L}{H} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- c = weight creep ratio
- L = panjang rayapan air
- H = tinggi tekanan air
- i = gradien hidraulik



Gambar 1. Skema rayapan air

Bligh menentukan panjang rayapan air sebesar  $L = b_1 + b_2 + 2S$  (Gambar 1.) dan menyimpulkan secara umum suatu batasan agar konstruksi aman terhadap bahaya "piping" sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Batas nilai c dan gradien hidraulik (i) menurut Bligh.

	Jenis Tanah	c	i
1.	Campuran pasir halus dan mika	15	1/15
2.	Pasir berbutir kasar	12	1/12
3.	Pasir bercampur batu bulat besar, kerikil dan tanah geluh	5 - 9	1/5 - 1/9
4.	Campuran pasir dan lumpur	8	1/8

Sumber : USBR (1973)\*

Selanjutnya Bligh melukiskan diagram tekanan air (uplift pressure) secara linier dengan panjang rayapan dan dinyatakan dengan :

$$UP_x = (L - L_x) \frac{H}{L} + h \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- UP<sub>x</sub> = tekanan air ke atas pada dasar bendung ditiitik x
- L = panjang rayapan total
- L<sub>x</sub> = panjang rayapan air sampai titik x
- H = selisih tinggi muka air hulu-hilir
- h = tinggi muka air hilir terhadap titik x

Seperti pada analisis piping, Bligh menentukan panjang rayapan sebesar  $L = b_1 + b_2 + 2S$ , dan dengan demikian dapat dihitung tekanan air (uplift-pressure) untuk berbagai titik (Gambar 2) :

Titik A :  $UP_a = (L - 0) \frac{H}{L} + h = H + h \quad t/m^2$

B :  $UP_b = (L - b_1) \frac{H}{L} + h \quad t/m^2$

D :  $UP_d = (L - b_1 - 2S) \frac{H}{L} + h \quad t/m^2$

E :  $UP_e = (L - b_1 - b_2 - 2S) \frac{H}{L} + h = h \quad t/m^2$

Lane memberikan koreksi terhadap teori Bligh dengan anggapan bahwa energi yang dibutuhkan oleh air untuk melalui lintasan vertikal lebih besar tiga kali daripada lintasan horisontal sehingga panjang rayapan total  $L = \frac{1}{3} (b_1 + b_2) + 2S$  (Gambar 1),

dan memberikan batasan secara umum tentang keamanan bahaya piping suatu konstruksi seperti tertera dalam Tabel 2.

Tabel 2. Batas nilai c dan gradien hidraulik (i) menurut Lane

	Jenis Tanah	c	i
1.	Pasir sangat halus atau endapan lumpur	8,50	1/8,50
2.	Pasir halus	7,50	1/7,50
3.	Pasir kasar	5,00	1/5
4.	Pasir berkerikil	3,50 - 3,00	1/3,5 - 1/3
5.	Pasir berkerikil dan batu bulat	2,50 - 3,00	1/2,5 - 1/3
6.	Tanah lempung	3,00 - 1,60	1/3 - 1,60

Sumber : USBR (1973)

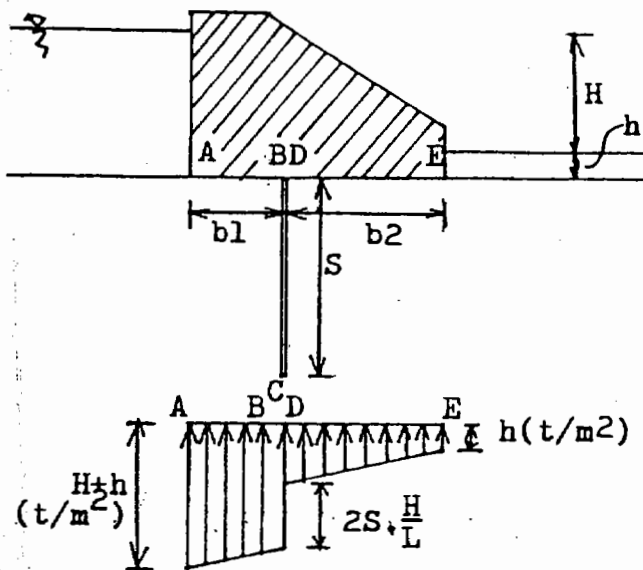
Dalam menentukan besar tekanan air (*uplift-pressure*) Lane beranggapan sama dengan Bligh namun dengan harga panjang rayapan total  $L = \frac{1}{3} (b_1 + b_2) + 2S$  hingga untuk berbagai titik akan didapat harga (Gambar 2)

Titik A:  $UP_a = (L - 0) \frac{H}{L} + h = H + h \quad t/m^2$

B:  $UP_b = (L - \frac{b_1}{3}) \frac{H}{L} + h \quad t/m^2$

D:  $UP_d = (L - \frac{b_1}{3} - 2S) \frac{H}{L} + h \quad t/m^2$

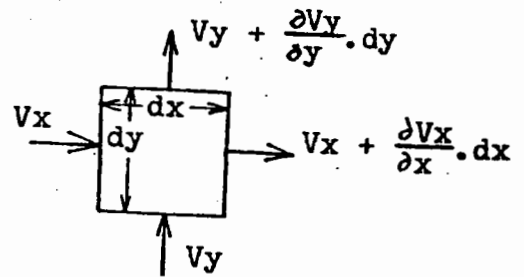
E:  $UP_e = (L - \frac{b_1 + b_2}{3} - 2S) \frac{H}{L} + h = h \quad t/m^2$



Gambar 2. Diagram tekanan air (*uplift-pressure*) menurut Bligh dan Lane

**Metode Khosla**

Khosla (1936) beranggapan bahwa rayapan tidak hanya terjadi pada lintasan batas antara dasar bangunan dengan tanah fondasi namun melalui lintasan berupa seluruh tampang tanah fondasi di bawah bangunan.



Gambar 3. Skema prisma tanah dalam dua dimensi

Dari suatu prisma tanah dengan ukuran lebar  $dx$  dan  $dy$  dan ketebalan satu satuan tegak lurus bidang gambar (Gambar 3) maka akan berlaku hukum kontinuitas dengan persamaan :

$$V_x dy + V_y dx = (V_x + \frac{\partial V_x}{\partial x} dx) dy + (V_y + \frac{\partial V_y}{\partial y} dy) dx \quad (3)$$

Atau :

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

Dari hukum Darcy (1856), dapat dituliskan besar gradien hidraulik

$$i = h/l \quad (5)$$

hingga dapat dituliskan untuk aliran arah horisontal (arah sumbu x) dan arah vertikal (arah sumbu y) besar gradien hidraulik menjadi  $i_x = -\frac{\partial h}{\partial x}$  dan  $i_y =$

$-\frac{\partial h}{\partial y}$ , maka kecepatan aliran menjadi :

$$V_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad (6)$$

$$V_y = -k_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad (7)$$

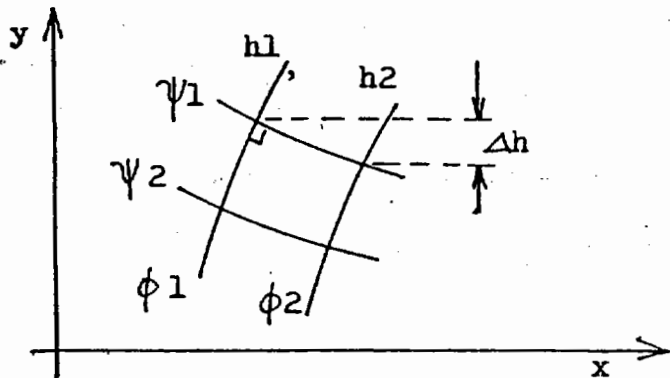
Dengan substitusi (6) dan (7) ke (4) maka diperoleh :

$$\frac{\partial}{\partial x} (-k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (-k_y \frac{\partial h}{\partial y}) = 0 \quad (8)$$

Untuk tanah yang homogen dan isotropis maka  $k_x = k_y = k$  maka persamaan dapat ditulis :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots (9)$$

yang merupakan bentuk umum persamaan Laplace yang dapat digambarkan dengan dua set lengkung saling berpotongan tegak lurus dengan membentuk bidang mendekati bujur sangkar dan secara keseluruhan disebut jaringan trayektori aliran (*flow net*) (Gambar 4).



$\psi$  : garis aliran  
 $\phi$  : garis ekuipotensial

Gambar 4. Skema jaringan trayektori

Penyelesaian persamaan Laplace ini dapat dengan cara analitis, model di laboratorium atau analogi listrik namun secara lebih mudah dapat dilaksanakan dengan *sketching method*. Dalam analisis *flow net* ini diperlukan beberapa asumsi yaitu :

- a. Tanah merupakan bahan homogen dan isotropis
- b. Tanah dalam keadaan jenuh air
- c. Air dan tanah adalah bahan yang tak termampatkan
- d. Aliran laminar dan permanen hingga berlaku hukum Darcy

Dari jaringan trayektori aliran ini dapat dihitung besar debit aliran per satuan lebar :

$$q = k H \frac{N_f}{N_d} \dots\dots\dots (10)$$

dengan :

- q : debit per satuan lebar
- k : koefisien permeabilitas tanah
- H : beda tinggi muka air hulu-hilir
- N<sub>f</sub> : jumlah garis aliran
- N<sub>d</sub> : jumlah garis ekuipotensial

### Metode Schwartz — Christoffel

Schwartz-Christoffel adalah suatu transformasi dari "conformal mapping". Langkah pertama dalam menghitung *uplift-pressure* metode ini adalah menentukan fungsi yang merupakan hubungan pemetaan antara bentuk dasar bangunan air (berupa poligon terbuka) dengan panjang rayapan air yang ditransformasikan menjadi sebuah garis lurus horisontal dengan rumus :

$$\frac{dz}{dt} = m (t-a)^{\hat{A}/n-1} (t-b)^{\hat{B}/n-1} \dots\dots (t-n)^{\hat{N}/n-1}$$

$$z = m \int (t-a)^{\hat{A}/n-1} (t-b)^{\hat{B}/n-1} \dots\dots (t-n)^{\hat{N}/n-1} dt + n$$

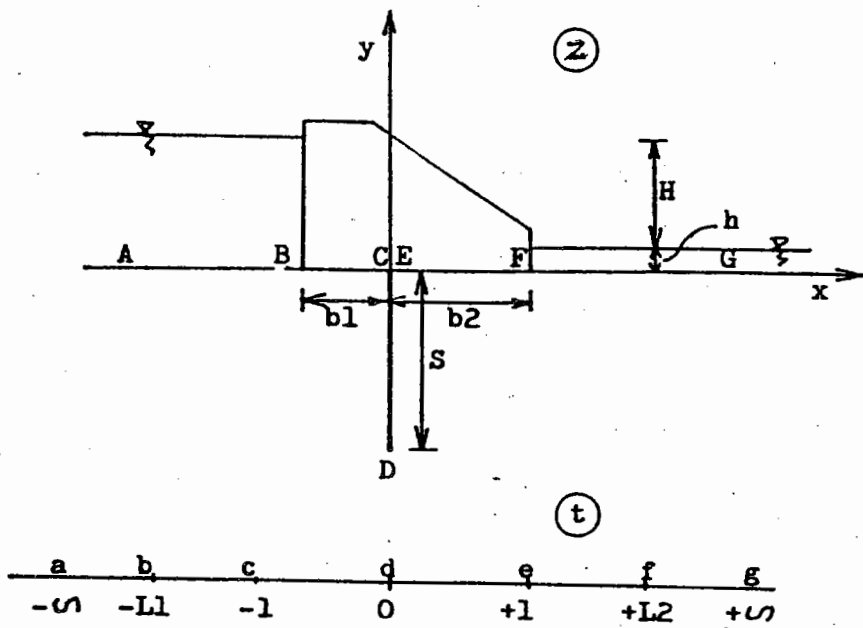
$$z = m \int \frac{dt}{(t-a)^{1-\hat{A}/n} (t-b)^{1-\hat{B}/n} \dots\dots (t-n)^{1-\hat{N}/n}} \dots\dots\dots (11)$$

Dalam pemetaan ini z berada dalam bidang dengan koordinat variabel kompleks ( $x + yi$ ) yang dilanjutkan dengan koordinat kutub (radian), agar bisa mengidentifikasi titik-titik yang berada pada bagian poligon yang berupa sebuah garis tetapi arah gerakanya bolak-balik. Sedangkan t berada dalam bidang dengan koordinat riil. Untuk lebih jelasnya dihitung 'uplift pressure' di bawah bendung yang dapat dilihat pada gambar 5.

Koordinat z dan t :

z	t
A : ( $-\infty, \pi$ )	$-\infty$
B : ( $-b_1, \pi$ )	$-L_1$
C : (0, $\pi/2$ )	-1
D : ( $-iS, +2\pi$ )	0
E : (0, $\pi/2$ )	+1
F : ( $+b_2, \pi$ )	$+L_2$
G : ( $+\infty, \pi$ )	$+\infty$

Harr (1962) mengambil garis referensi pada bidang t adalah cd dan de yang panjangnya satu satuan.



Gambar 5. Aplikasi Teori Schwartz Christoffel

Dengan persamaan (11) :

$$z = m \int \frac{dt}{(t+\infty)^0 (t+L1)^0 (t+1)^{1/2} t^{-1} (t-1)^{1/2} (t-L2)^0 (t-\infty)^0} + n$$

$$z = m \int \frac{dt}{(t+1)^{1/2} t^{-1} (t-1)^{1/2}} + n$$

$$z = m \int \frac{tdt}{\sqrt{(t+1)(t-1)}} + n$$

$$z = m \int \frac{tdt}{\sqrt{t^2-1}} + n$$

misal :

$$\begin{aligned} a &= t^2 - 1 \\ da &= 2t, dt \\ tdt &= 1/2 da \end{aligned}$$

$$z = m \int \frac{1/2 da}{\sqrt{a}} + n$$

$$z = m \cdot 1/2 \int \frac{da}{\sqrt{a}} + n$$

$$z = m \cdot 1/2 \int a^{-1/2} da + n$$

$$z = m \cdot 1/2 \frac{a^{-1/2} + 1}{-1/2 + 1} + n$$

$$z = m \cdot a^{1/2} + n$$

$$z = m (t^2 - 1)^{1/2} + n$$

$$z = m \sqrt{t^2 - 1} + n$$

Ditinjau dinding kedap air CDE :

$$\begin{aligned} \text{Titik C : } z &= 0 ; t = -1 \text{ maka } n = 0 \\ \text{D : } z &= -iS ; t = -1 \text{ maka } m = -S \\ \text{E : } z &= 0 ; t = +1 \text{ maka } n = 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

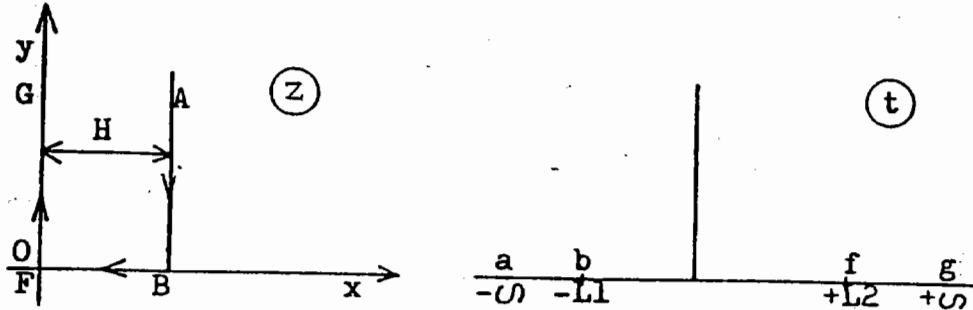
$$z = -S \sqrt{t^2 - 1} \dots \dots \dots (12)$$

Titik B :  $z = -b_1$ ;  $t = -L_1$   
 F :  $z = +b_2$ ;  $t = +L_2$

maka :

$$-b_1 = -S \sqrt{L_1^2 - 1} \rightarrow L_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{b_1}{S}\right)^2} \quad (13)$$

$$+b_2 = -S \sqrt{L_2^2 - 1} \rightarrow L_2 = \sqrt{1 + \left(\frac{b_2}{S}\right)^2} \quad (14)$$



Gambar 6. Pemetaan Selisih Tinggi Muka Air dengan Metode Schwartz - Christoffel

Koordinat z dan t :

z	t
A : $(H + \sim, \pi)$	$-\sim$
B : $(H, \pi/2)$	$-L_1$
F : $(0, \pi/2)$	$+L_2$
G : $(+\sim, \pi)$	$+\sim$

Dengan persamaan (11) :

$$z = m \int \frac{dt}{(t+L_1)^{1/2} (t-L_2)^{1/2}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{dt}{\sqrt{(t+L_1)(L_2-t)}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{dt}{\sqrt{L_1 L_2 - (L_1 - L_2)t - t^2}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{2 dt}{\sqrt{4L_1 L_2 - 4(L_1 - L_2)t - 4t^2}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{2 dt}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2 - 2L_1 L_2 - L_1^2 L_2^2 + 2L_1 L_2 - 4(L_1 - L_2)t - 4t^2}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{2 dt}{\sqrt{(L_1 + L_2)^2 - (L_1 - L_2)^2 - 4(L_1 - L_2)t - 4t^2}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{2 dt}{\sqrt{(L_1 + L_2)^2 - [2t + (L_1 - L_2)]^2}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{2 dt}{\sqrt{(L_1 + L_2)^2 - (2t + L_1 - L_2)^2}} + n_1$$

$$z = i \cdot m \int \frac{d(2t + L_1 - L_2)}{\sqrt{(L_1 + L_2)^2 - (2t + L_1 - L_2)^2}} + n_1$$

Selanjutnya selisih tinggi muka air hulu dan hilir (H) didistribusikan sepanjang garis rayapan A sampai G, juga dengan memakai metode pemetaan Schwartz - Christoffel.

misal :  $x = 2t + L_1 - L_2$   
 $a = L_1 + L_2$

$$z = i \cdot m l \int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} + n_1 = i \cdot m l \cdot \arcsin \frac{x}{a} + n_1$$

$$z = i \cdot m l \arcsin \frac{2t + L_1 - L_2}{L_1 + L_2} + n_1$$

catatan :  $i = \sqrt{-1}$

Titik B :  $z = H$ ;  $t = -L_1 \rightarrow H = i \cdot m l \cdot -\frac{\pi}{2} + n_1$

F :  $z = 0$ ;  $t = +L_2 \rightarrow 0 = i \cdot m l \cdot \frac{\pi}{2} + n_1$

Diperoleh :  $i \cdot m l = -\frac{H}{\pi}$  dan  $n_1 = \frac{H}{2}$

$$z = -\frac{H}{\pi} \arcsin \frac{2t + L_1 - L_2}{L_1 + L_2} + \frac{H}{2}$$

$$z = -\frac{H}{\pi} \left( \arcsin \frac{2t + L_1 - L_2}{L_1 + L_2} - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$z = -\frac{H}{\pi} \arccos \frac{2t + L_1 - L_2}{L_1 + L_2}$$

Jika :  $\lambda_1 = \frac{L_1 - L_2}{2}$  dan  $\lambda = \frac{L_1 + L_2}{2}$

$$z = \frac{H}{\pi} \arccos \frac{t + \lambda_1}{\lambda}$$

Dari persamaan (12) :  $z = -S \sqrt{t^2 - 1}$

$$t^2 = \frac{z^2 + S^2}{S^2}$$

$$t = \pm \frac{1}{S} \sqrt{z^2 + S^2}$$

Sehingga :

$$z = \frac{H}{\pi} \arccos \frac{\pm \frac{1}{S} \sqrt{S^2 + z^2} + \lambda_1}{\lambda}$$

$$z = \frac{H}{\pi} \arccos \frac{\lambda_1 \cdot S \pm \sqrt{z^2 + S^2}}{\lambda \cdot S}$$

Tekanan ke atas (*uplift pressure*) :

$$UP = \frac{H}{\pi} \arccos \frac{\lambda_1 \cdot S \pm \sqrt{z^2 + S^2}}{\lambda \cdot S} + h \quad (15)$$

Catatan :

$$\arccos \frac{\lambda_1 \cdot S \pm \sqrt{z^2 + S^2}}{\lambda \cdot S} \text{ dimensi radian}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1 - L_2}{2}$$

$$\lambda = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

tanda + jika z disebelah kanan titik D, (gambar 5)  
 tanda - jika z disebelah kiri titik D,  
 h = tinggi muka air hilir terhadap dasar bendung.

### Hasil Simulasi dan Implementasi

Dalam simulasi ini diberikan suatu data masukan untuk membandingkan berbagai metode tersebut di atas dalam menentukan besar *uplift-pressure* yang berguna dalam perhitungan stabilitas bangunan melintang sungai. Akan ditinjau tiga keadaan ekstrim yaitu pada saat *cut off wall* berfungsi di ujung hulu, tengah dan hilir.

#### 1. Cut off wall hulu

Dengan data seperti gambar 7 maka dapat dihitung besar *uplift-pressure* dengan berbagai metode :

##### a. Metode Bligh

Dengan menggunakan formula (2) maka dapat dihitung besar *uplift pressure* untuk berbagai titik :  
 Panjang rayapan  $L = b_1 + b_2 + 2S = 4 + 6 + 2.8 = 26 \text{ m}$

$$\text{Titik A : } UP_a = (26 - 0) \frac{5}{26} + 1 = 6 \text{ t/m}^2$$

$$\text{C : } UP_c = (26 - 2.8) \frac{5}{26} + 1 = 0,923 \text{ t/m}^2$$

$$\text{D : } UP_d = (26 - 2.8 - 10) \frac{5}{26} + 1 = 1 \text{ t/m}^2$$

#### b. Metode Lane

Lane menghitung panjang rayapan berbeda dengan Bligh namun mempergunakannya dalam menghitung *uplift pressure* dengan formula yang sama dan menghasilkan untuk titik-titik :

$$L = \frac{1}{3} (b_1 + b_2) + 2S = \frac{1}{3} (4 + 6) + 2.8 = 19,33 \text{ m}$$

$$\text{Titik A : } UP_a = (19,33 - 0) \frac{5}{19,33} + 1 = 6 \text{ t/m}^2$$

$$\text{B : } UP_b = (19,33 - 2.8) \frac{5}{19,33} + 1 = 1,862 \text{ t/m}^2$$

$$\text{D : } UP_d = (19,33 - 2.8 - \frac{10}{3}) \frac{5}{19,33} + 1 = 1 \text{ t/m}^2$$

#### c. Metode Khosla

Dengan cara sketching method dapat dihasilkan *flow net* seperti gambar 8 maka dapat dihitung besar *uplift pressure* pada titik-titik :

$$\text{Titik A : } UP_a = 9 \cdot \frac{5}{9} - (-1) = 6 \text{ t/m}^2$$

$$\text{B : } UP_b = 3 \cdot \frac{5}{9} - (-1) = 2,667 \text{ t/m}^2$$

$$\text{D : } UP_d = 0 \cdot \frac{5}{9} - (-1) = 1 \text{ t/m}^2$$

#### d. Metode Schwartz-Christoffel

Dengan memanfaatkan formula (14) maka dapat dihitung besar *uplift pressure* untuk berbagai titik.

$$L_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{0}{8}\right)^2} = 1 \text{ m}$$

$$L_2 = \sqrt{1 + \left(\frac{10}{8}\right)^2} = 1,601 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \frac{1 - 1,601}{2} = -0,3005 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{1 + 1,601}{2} = 1,3003 \text{ m}$$

$$\text{Titik A} \longrightarrow Z_a = 0$$

$$UP_a = \frac{5}{\pi} \arccos \frac{-0,3005 \times 8 - \sqrt{8^2 + 0^2}}{1,3005 \times 8} + 1 = 6 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Titik C} \longrightarrow Z_c = 0$$

$$UP_c = \frac{5}{\pi} \arccos \frac{-0,3005 \times 8 + \sqrt{8^2 + 0^2}}{1,3005 \times 8} + 1 = 2,596 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Titik D} \longrightarrow Z_d = -10 \text{ m}$$

$$UP_d = \frac{5}{\pi} \arccos \frac{-0,3005 \times 8 + \sqrt{8^2 + 10^2}}{1,3005 \times 8} + 1 = 1 \text{ t/m}^2$$

Dengan demikian hasil dapat dirangkum dalam Tabel 3, serta diagram tekanan dapat dilihat dalam Gambar 7.

Tabel 3. *Uplift pressure* untuk *cut off wall* hulu

Titik	Uplift Pressure t/m <sup>2</sup>			
	Bligh	Lane	Khosla	S—C
A	6	6	6	6
C	2,923	1,862	2,667	2,596
D	1	1	1	1

S.C = Schwartz - Christoffel



## 2. Cut off wall tengah

Keadaan tersebut dengan data seperti tertera dalam gambar 9 dan mengacu pada formula yang berlaku untuk metode Bligh, Lane, Schwartz-Christoffel dan Gambar 10 untuk metode Khosla maka hasil dapat dilihat dalam Tabel 4 dan diagram tekanan Gambar 9.

Tabel 4. Uplift pressure untuk cut off wall tengah

Titik	Uplift pressure t/m <sup>2</sup>			
	Bligh	Lane	Khosla	S-C
A	6	6	6	6
B	5,231	5,655	5,250	5,283
C	2,154	1,517	1,889	2,053
D	1	1	1	1

## 3. Cut off wall hilir

Keadaan tersebut sebagai disajikan dalam gambar 11 dan dengan formula yang berlaku untuk metode Bligh, Lane dan Schwartz-Christoffel dan dengan gambar 12 untuk metode Khosla maka hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 5, dan diagram tekanan pada Gambar 11.

Tabel 5. Uplift pressure untuk cut off wall hilir

Titik	Uplift pressure t/m <sup>2</sup>			
	Bligh	Lane	Khosla	S-C
A	6	6	6	6
B	4,077	5,138	4,333	4,404
D	1	1	1	1

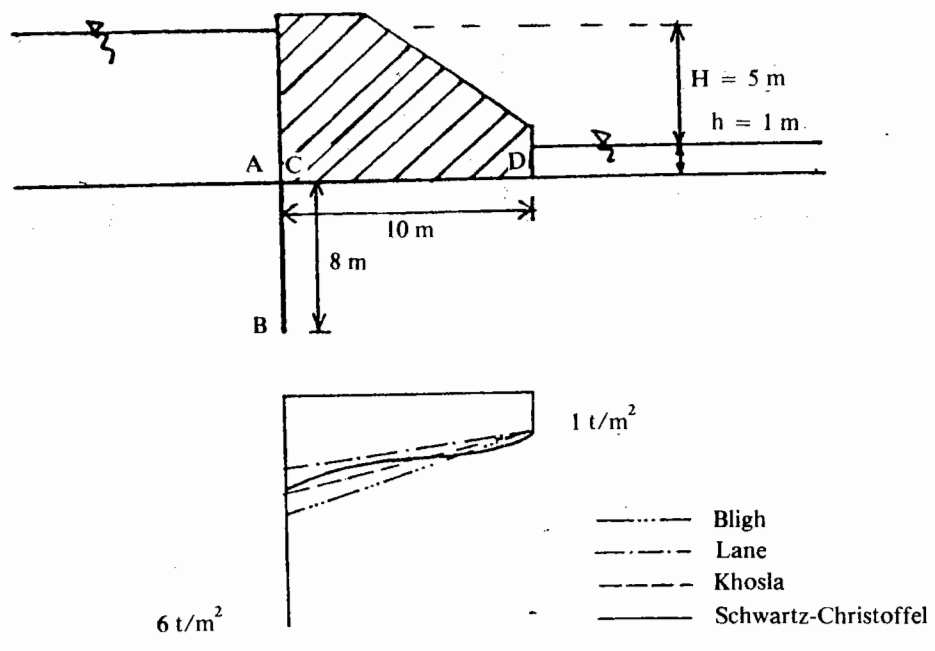
## Kesimpulan

Dari hasil simulasi dengan masukan data untuk kondisi umum dalam konstruksi bangunan sejenis didapat perbedaan tekanan air ke atas antara harga ekstrem rendah dan tinggi berkisar 5%. Hingga karena penggunaan metode Khosla memerlukan sket-

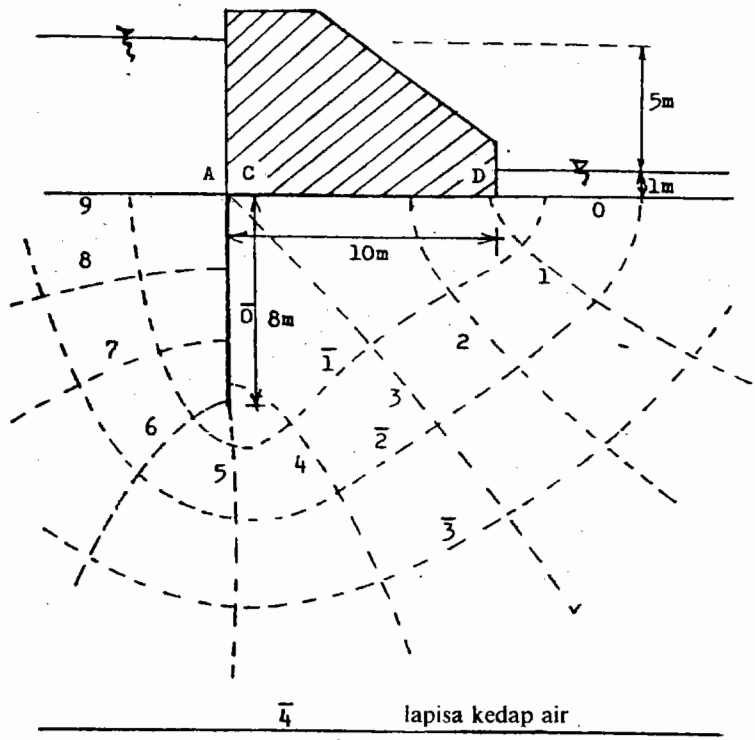
ching metode sedangkan dengan metode Schwartz-Christoffel sulit untuk penjabaran matematikanya untuk bangun dasar bangunan yang tidak sederhana maka penggunaan metode Bligh dan Lane cukup memenuhi kriteria perhitungan teknis.

## Daftar Pustaka

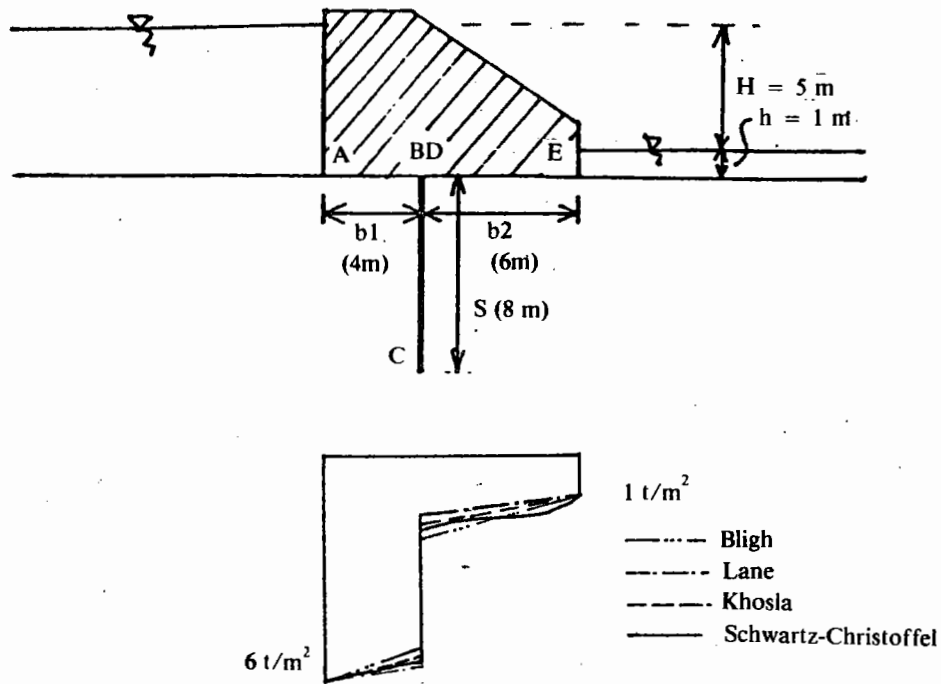
- Cedregen, H.R., Seepage, Drainage, and Flow nets, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1977.
- Darcy, H., Les fontaines publiques de la ville de Dijon, Paris, 1936.
- Harr, M.E., Groundwater and seepage, Mc Graw-Hill Book Company, 1962.
- Khosla, Bose, Taylor, "Design of weirs on Permeable Foundation" Pub no. 12, Control Board of Irrigation Smila, India, 1936.
- Spiegel, M.R., Complex Variables With an Introduction to Conformal Mapping, Mc Graw-Hill International Book Company, Singapore, 1964.
- Sunjoto, Aliran bawah permukaan, Kursus Singkat PAU-IT-UGM, Yogyakarta, 1987.
- USBR, Design of Small Dam, Second Edition, New Delhi, 1973.
- Vachaud, G., Hidrodynamique en mileux poreux, ENSHG-INPG, Grenoble, 1981.



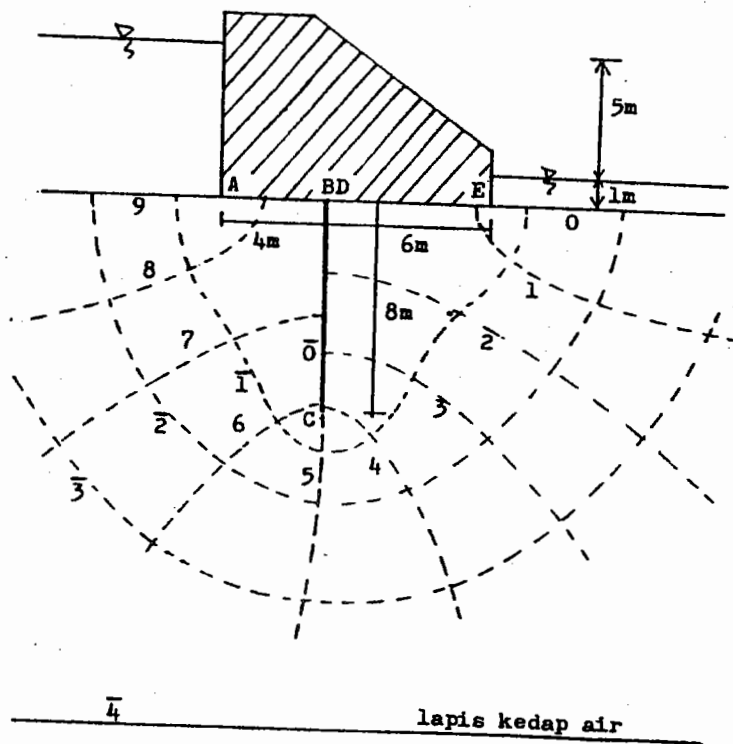
Gambar 7. Cut off wall hulu dan diagram tekanan



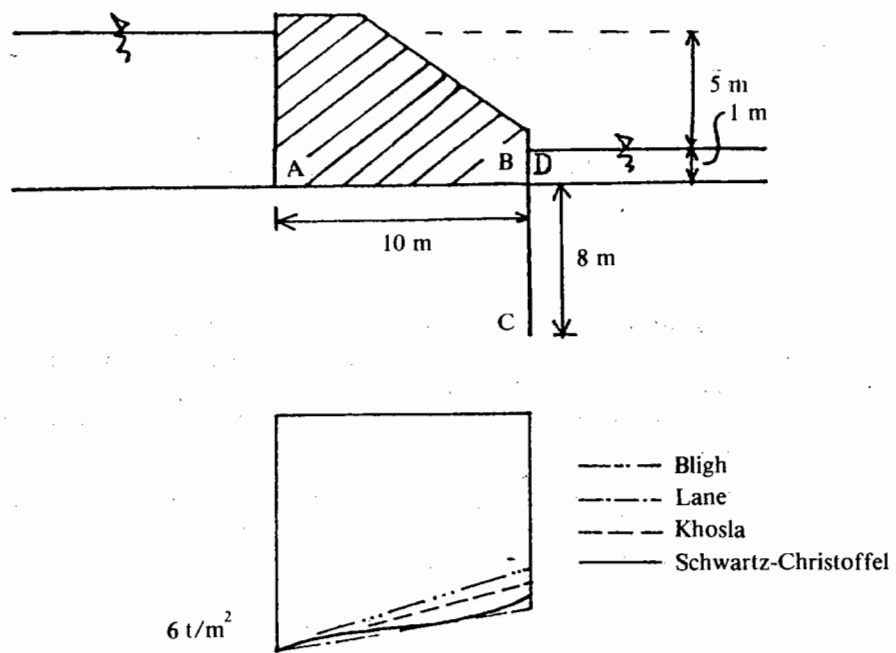
Gambar 8. Flow net untuk cut off wall hulu



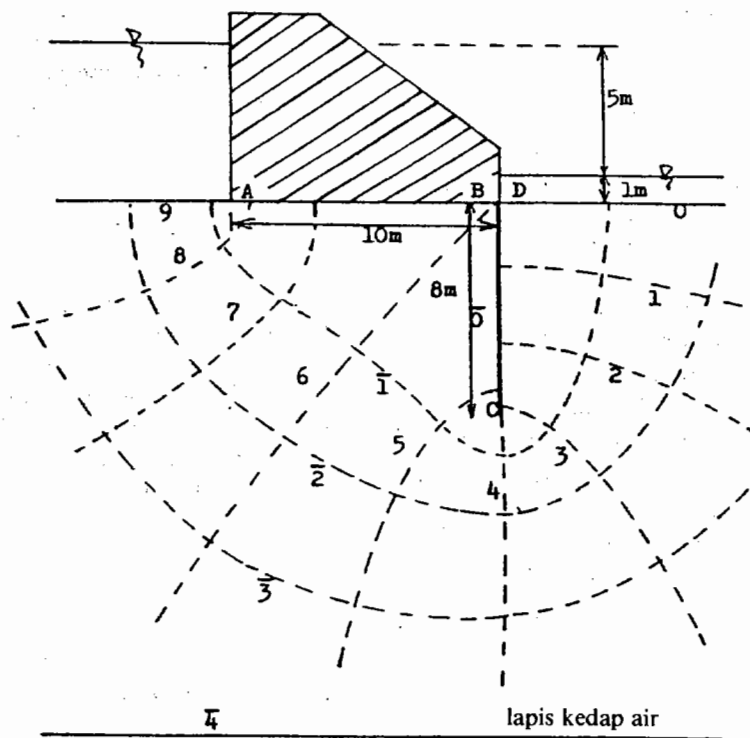
Gambar 9. Cut off wall tengah dan diagram tekanan



Gambar 10. Flow net untuk cut off wall tengah



Gambar 11. Cut off wall hilir dan diagram tekanan



Gambar 12. Flow net untuk cut off wall hilir