

# **OPTIMASI DESAIN BANGUNAN PELENGKAP BENDUNGAN DENGAN METODA SIMPSON LUAS PENAMPANG (SIMPSON'S RULE)**

**Carlina Soetjiono<sup>\*)</sup>, Sunarto<sup>\*\*)</sup>**

## **ABSTRACT**

*Design of headworks should be considered in the mitigation of hazards in Indonesia. Several aspects considered in design consist of design flood, influeczes to the structures, and the risk of earthquake. The external loads have a negative impact to the structures so the dimension of the structure should be bigger. In connection of the overdesign of structure, the cross section design should be optimum. The Simpson's rule is used to compute accurately the cross section area of the structure. This method is carried out by using the mathematical of the existing condition and the reductions of the volume and the weight of the structures caused by the holes in the structures. Experimentally, the studies have been carried out in the Kalibumi weir and the tower of Cikukang dam. These studies present that the results of the stability analysis of the non orderly and non massive structures are quite satisfy. The out-come of the analysis is obtain the safety dams concerning with the program of safety dams in Indonesia.*

**Keywords** : optimum design, Simpson's rule, head-works, dams, massive structure.

## **PENDAHULUAN**

### **Latar belakang**

Metoda Simpson luas penampang pertama kali dilakukan *US Corps of Engineers* pada tahun 1962 dengan judul *Gravity Dams Stability Analysis*. Namun, belum banyak dikembangkan di Indonesia karena memerlukan perhitungan agak rumit dan satuan Inggris yang tidak lazim di Indonesia. Metoda ini telah dikembangkan untuk bendungan graviti maupun berbagai bentuk bangunan air masif maupun berongga. Dengan metoda ini dapat dilakukan analisis stabilitas berbagai

bangunan air, seperti : pelimpah, konduit dan berbagai penampang bangunan yang tertanam di dalam tanah/fondasi. Analisis dua dimensi ini disebut *finite nodal point method* yang berlaku untuk penampang umum, seperti: trapesium, parabola, hiperbola, lingkaran dan bentuk fungsi lainnya. Oleh karena sifatnya sangat umum, maka pendekatan matematisnya hampir mendekati sebenarnya sehingga dapat dilakukan desain yang optimum. Pergerakan arah titik simpul berjalan se arah jarum jam sampai ke titik simpul awal sehingga terbentuk garis-garis tertutup. Bilamana diinginkan pengurangan volume karena adanya

---

<sup>\*)</sup> Ahli peneliti muda bidang bangunan air, Puslitbang SDA Bandung

<sup>\*\*)</sup> Pengendali dampak lingkungan madya, Puslitbang SDA Bandung

ruang kosong seperti galery di dalam pelimpah, pergerakan titik simpul dapat dibalik berlawanan dengan arah jarum jam, sehingga sistem gabungan ini memperhitungkan adanya ruang kosong yang berada dalam bangunan. Stabilitas bangunan dihitung terhadap guling, geser dan daya dukung, sehingga memenuhi kriteria stabilitas baik dalam kondisi statik maupun dinamik. Analisis ini telah disusun dalam bentuk program komputer dalam bahasa fortran dan diberi nama program GRAVSTB, yang telah dicoba diterapkan dalam desain beberapa proyek bendungan. Hasilnya cukup memuaskan ditinjau dari segi waktu pemrosesan data dan tingkat keamanan bangunan akan lebih terjamin karena prosesnya mudah dengan ketelitian tinggi dan metodenya cocok untuk analisis stabilitas ini. Beberapa proyek embung/bendungan di Indonesia stabilitasnya telah dianalisis dengan menggunakan metode ini.

### **Maksud dan tujuan**

Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kehandalan metode stabilitas bangunan pelengkap bendungan dengan metoda simpson luas penampang bangunan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung stabilitas bangunan agar tercapai optimasi perhitungan karena ketelitiannya cukup memadai.

### **Ruang lingkup**

Lingkup penelitian ini adalah melakukan evaluasi dan analisis stabilitas

bangunan menggunakan metoda Simpson luas penampang bangunan dengan memperhitungkan berbagai aspek beban yang bekerja pada bangunan tersebut. Sebagai bahan penelitian telah dilakukan perhitungan stabilitas untuk bendung Kalibumi di propinsi Papua, dan pelimpah bendungan Cikukang di propinsi Jawa Barat (gambar 1).

### **STUDI PUSTAKA**

Penelitian ini memerlukan beberapa literatur yang berkaitan dengan perilaku bangunan yang mengalami beban eksternal dan internal, antara lain:

- (1) Buku-buku matematik tentang teori luas bidang datar dengan cara Simpson (*Simpson's rule*).
- (2) Buku-buku tentang metode analisis numerik yang menjabarkan teori Simpson ke dalam sistem numerik.
- (3) Buku-buku tentang hidraulik (WES Standard) untuk menentukan bentuk fungsi hidraulik dari beberapa bangunan air.
- (4) Buku-buku literatur tentang studi geoteknik pelapisan fondasi dan daya dukung tanah akibat galian serta tekanan angkat (*uplift*) karena rembesan di fondasi.
- (5) Studi kegempaan baik statik maupun dinamik terhadap pelapisan tanah dan interaksi dengan genangan air waduk.
- (6) Dasar-dasar teori tegangan dalam mekanika benda masif untuk menentukan eksentrisitas, tegangan normal dan tegangan geser.



Gambar 1. Peta Situasi Bendung Cikukang, Propinsi Jawa Barat

## METODOLOGI PENELITIAN

### Asumsi (hipotesis) penelitian

Di dalam metoda analisis penelitian ini digunakan anggapan bahwa sistem bangunan terdiri atas benda padat yang masif. Bidang kontak antara bangunan dan fondasi merupakan bagian yang lemah, sehingga dimensi bangunan / fondasi akan ditentukan dari perhitungan stabilitas yang melewati bidang kontak tersebut.

### Rancangan penelitian

Analisis penelitian dengan metode stabilitas bangunan pelengkap bendungan dengan cara Simpson luas penampang bangunan ini, dilakukan dengan langkah-langkah yang harus ditempuh sebagai berikut :

(1) Mengumpulkan data parameter fondasi untuk mencari parameter

daya dukung dan kekuatan geser fondasi.

- (2) Membuat geometri penampang bangunan disertai dengan lokasi titik-titik simpul baik yang ada di permukaan maupun di fondasi searah jarum jam. Titik-titik simpul juga dibuat untuk rongga-rongga yang ada di dalam penampang bangunan namun dengan arah berlawanan jarum jam.
- (3) Menghitung luas penampang dengan rumus Simpson (*Simpson's rule*) untuk mencari berat total bangunan. Selanjutnya dapat diketahui letak titik berat bangunan serta jarak titik tangkapnya.
- (4) Menghitung gaya-gaya luar (*eksternal*) yang berupa : tekanan hidrostatik dan hidrodinamik, tekanan angkat (*uplift*), tekanan tanah aktif dan pasif serta beban terpusat. Gaya-gaya dalam (*internal*) terdiri atas berat sendiri

bangunan dan gaya inersia akibat gempa bumi.

- (5) Menghitung stabilitas bangunan dengan cara menjumlahkan gaya-gaya luar dan dalam termasuk geser, guling dan daya dukung fondasi.
- (6) Analisis dicoba berulang-ulang terutama lebar fondasi sampai mencapai hasil yang sesuai dengan kriteria desain yang menjadi standar dalam peraturan bendungan-bendungan besar.

**Konsep dasar**

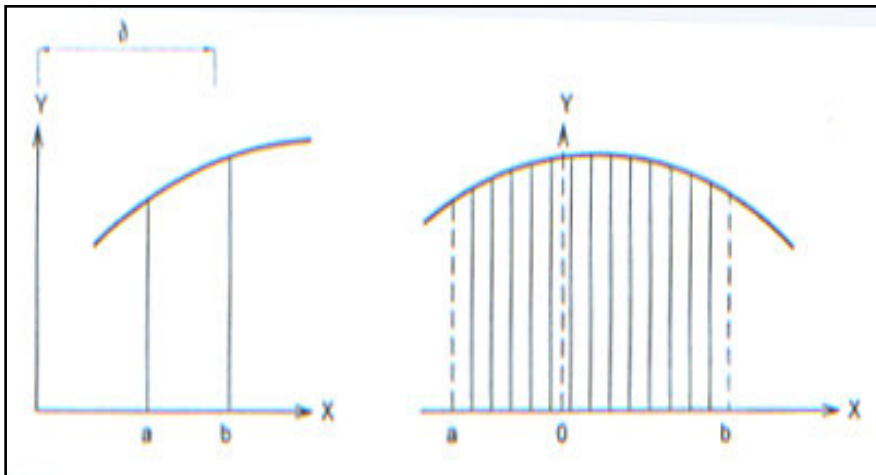
Desain penampang bangunan pelengkap bendungan dimulai dari beberapa teori dasar integrasi numerik.

Permasalahan integrasi numerik ini adalah memperkirakan sejumlah persamaan sebagai berikut.

$$I(f) = \int_b^a f(x) dx \dots\dots\dots (1)$$

dengan :  
 f(x) : fungsi x;  
 a dan b : absis a dan absis b ;

Permasalahan akan meningkat bila pelaksanaan integrasi tidak dapat dilakukan secara eksak atau fungsi f(x) diketahui hanya pada sejumlah titik yang terbatas. Pada gambar 2 diperlihatkan bidang yang dibatasi oleh garis fungsi f(x), absis a, absis b dan sumbu absis x yang menjadi perumusan dasar dalam integrasi numerik dengan hukum Simpson.



Gambar 2. Bidang yang terbagi atas segmen-segmen menurut hukum Simpson

Luas penampang absis a dan b yang sangat berdekatan ( $\Delta x = b-a$ ) diperoleh dengan hukum Simpson sebagai berikut.

$$I(f) \approx S = \frac{b-a}{6} \{ f(a) + 4f((a+b)/2) + f(b) \} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan kesalahan (error) sebesar:

$$E^s = -\frac{1}{90} \{ f^{IV}(\eta) \left( \frac{b-a}{2} \right)^5 \} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :  
 a : absis a ;  
 b : absis b ;

$\Delta x = b-a$  : relatif kecil ;  
 $\eta$  : di antara a dan b dan kira-kira  
 $= (a+b)/2$ .

Luas total penampang bangunan adalah:

$$S = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S \dots\dots\dots(4)$$

Bila berat volume bangunan adalah  $\gamma_b$ , berat bangunan adalah :

$$W_b = \gamma_b \times S \text{ (5) } \dots\dots\dots(5)$$

Titik berat bangunan dihitung dengan rumus titik berat sistem segmen yaitu:

$$X_0 = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i \cdot X_i \cdot \gamma_b \right) / W_b \quad \text{dan}$$

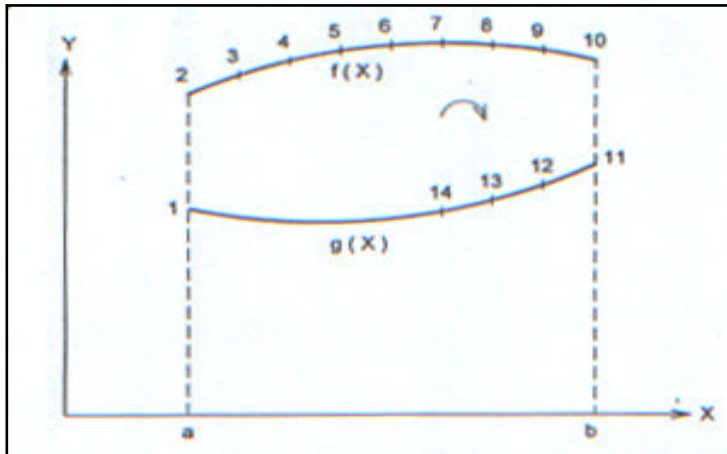
$$Y_0 = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i \cdot Y_i \cdot \gamma_b \right) / W_b \dots\dots\dots(6)$$

Dari ke-enam persamaan ini dapat dikembangkan lebih luas lagi untuk menghitung stabilitas bangunan secara keseluruhan.

**PERMASALAHAN**

**Bangunan masif dibatasi oleh fungsi**

Pada gambar 3 diperlihatkan 2 buah fungsi yang membatasi bidang bangunan dengan absis dibatasi dari  $x = a$  sampai dengan  $x = b$ . Fungsi  $f(x)$  dan  $g(x)$  merupakan batas atas dan batas bawah, sehingga membentuk garis tertutup dari titik simpul 1 s/d titik simpul n, searah dengan arah jarum jam.



Gambar 3a. Bidang yang dibatasi oleh 2 buah fungsi

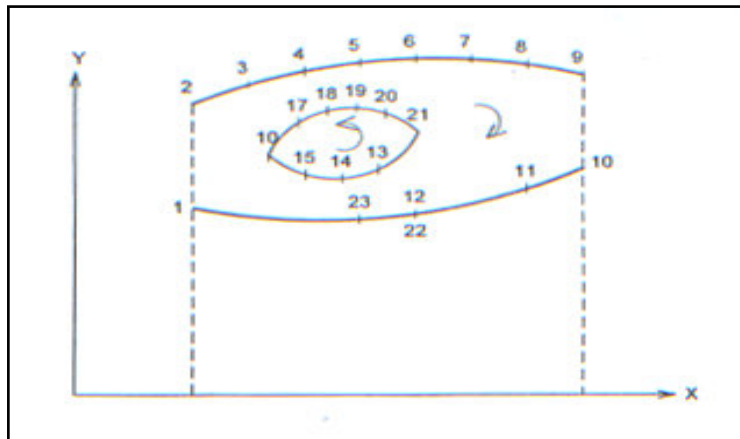
**Bangunan berlubang yang dibatasi oleh fungsi**

Jika di dalam bangunan terdapat lubang yang dibatasi oleh fungsi-fungsi  $k(x)$

dan  $l(x)$ , penelusuran titik simpul dapat dilakukan dua kali yaitu searah dan berlawanan dengan arah jarum jam. Pada gambar 4 diperlihatkan bangunan yang dibatasi oleh fungsi-fungsi  $f(x)$  dan

$g(x)$  dan lubang yang dibatasi oleh fungsi-fungsi  $k(x)$  dan  $l(x)$ . Penelusuran titik simpul dimulai dari titik 1 s/d titik  $n$ , dan dikurangi luas bidang yang dibatasi oleh fungsi-fungsi  $k(x)$  dan  $l(x)$ . Pengurangan luas ini dapat dilakukan

dengan melanjutkan titik simpul  $n$  sampai titik simpul  $m$  dengan arah berlawanan arah jarum jam karena nilainya harus negatif. Penelusuran titik simpul harus tertutup kembali ke titik awal.



Gambar 3b. Bidang yang dibatasi oleh beberapa fungsi termasuk lubang di dalam bangunan

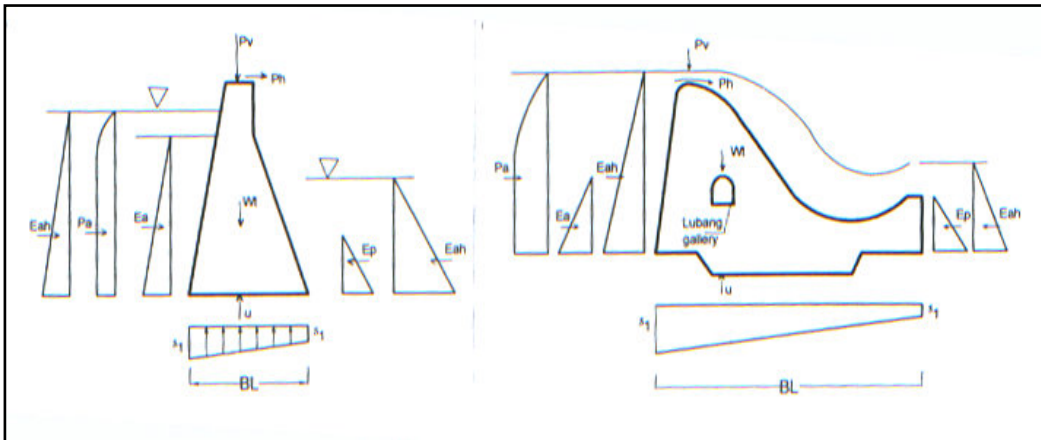
### Gaya internal

Gaya-gaya internal terdiri atas berat sendiri bangunan dan gaya inersia akibat gempa. Bila segmen yang luasnya  $\Delta S$  dikalikan dengan berat volume ( $\gamma_b$ ), berat segmen tersebut adalah  $\Delta W_b = \gamma_b \times \Delta S$ . Gaya inersia  $\Delta F_i$  diperoleh dari hasil perkalian antara  $\Delta W_b$  dengan faktor koefisien gempa. Koefisien gempa horisontal adalah  $k_h$  dan koefisien gempa vertikal adalah  $k_v$ , sehingga gaya inersia horisontal pada segmen adalah  $\Delta F_{ih} = k_h \cdot \Delta W_b$  dan gaya inersia vertikal pada segmen adalah  $\Delta F_{iv} = k_v \cdot \Delta W_b$ . Untuk perhitungan secara dinamik gaya inersia

ini merupakan fungsi dari waktu, sehingga riwayat waktu tegangan di kaki fondasi dapat diketahui.

### Gaya eksternal

Gaya-gaya eksternal ini terdiri atas beberapa jenis gaya yaitu: tekanan hidrostatik, hidrodinamik, tekanan pasif dan aktif tanpa dan dengan gempa, tekanan angkat (*uplift*) dan gaya luar berupa gaya terpusat yang berarah horisontal dan vertikal. Sistem gaya-gaya internal dan eksternal dapat di-plot seperti diperlihatkan pada gambar 4a dan 4b berikut ini.



Gambar 4. Sistem gaya-gaya internal dan eksternal bentuk gravitasi (a) tanpa aliran, (b) dengan aliran (overflow)

**Stabilitas bangunan dan fondasi**

Kriteria keamanan mensyaratkan bahwa bangunan harus aman terhadap geser, guling dan daya dukung fondasi.

Menurut beberapa literatur besarnya faktor keamanan dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Kriteria faktor keamanan bangunan pelengkap bendungan

Kondisi pembebanan	Aspek-aspek		
	Guling	Geser	Daya dukung
(a) Pembebanan normal			
- masa pembangunan	1,50	1,50	3
- muka air normal	2,00	2,00	5
- muka air tinggi	1,25	1,25	3
(b) Pembebanan dg gempa			
- masa pembangunan	1,25	1,25	2
- muka air normal	1,50	1,50	3
- muka air tinggi	-	-	-

Ketiga kriteria di atas menyebabkan dimensi lebar dan tebal fondasi harus dilakukan berulang-ulang. Untuk mencari faktor keamanan terhadap daya dukung perlu diketahui parameter teknis fondasi, yaitu:  $\Phi$  (sudut geser dalam),  $c$  (kohesi) dan  $\gamma_n$  (berat volume). Daya

dukung batas fondasi dihitung dengan menggunakan rumus Terzaghi sebagai berikut.

$$q_{ult} = c N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (7)$$

dengan:

$\Phi$  : sudut geser dalam ;

- c : kohesi ;
- $N_c, N_q, N_\gamma$  : faktor-faktor daya dukung ;
- $\gamma$  : berat volume ( $t/m^3$ ) ;
- q : beban di atas fondasi ( $t/m^2$ ) ;
- B : lebar fondasi (m).

Faktor keamanan terhadap daya dukung dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FK_{1,2} = q_{ult} / q_1 \text{ atau } q_{ult} / q_2 \dots\dots\dots(8)$$

dengan:

- $q_1$  : tegangan yang terjadi di kaki hilir fondasi;
- $q_2$  : tegangan yang terjadi di kaki udik fondasi.

**HASIL ANALISIS DAN EVALUASI**

**Contoh analisis bendung Kalibumi di Propinsi Papua**

Bendung Kalibumi terletak di Kabupaten Nabire Propinsi Papua. Bendung ini telah mengalami kerusakan akibat gempa bumi pada bulan Februari dan November 2004 berkekuatan 6,9 dan 7,2 skala Richter, sehingga pembangunannya terhenti. Berdasarkan peta zona gempa Indonesia, kota Nabire terletak dalam zona E dengan koefisien zona dalam kisaran  $z = 1,2 - 1,4$  yang termasuk tinggi jika dibandingkan dengan daerah lainnya di Indonesia. Percepatan gempa dasar ( $a_c$ ) untuk berbagai perioda ulang adalah:  $a_c = 120$  gal ( $T = 20$  tahun),  $a_c = 160$  gal ( $T = 50$  tahun), dan  $a_c = 180$  gal ( $T = 100$  tahun). Profil geologi pada bor B2 menunjukkan bahwa pada kedalaman 0 - 5 m berupa lempung gampingan, 5 - 15 m lanau lempungan lunak, 15 - 30 m pasir kerikilan, dan di bawahnya berupa batu lanau lempungan. Nilai SPT pada lapis ke-1 rata-rata adalah  $N_{SPT} = 5$ , lapis ke-2  $N_{SPT} = 13$ , lapis ke-3  $N_{SPT} = 20$ , dan di bawahnya lapisan dengan

$N_{SPT} \geq 50$ . Koefisien gempa horisontal untuk masing-masing perioda ulang dihitung dengan rumus  $k_h = a_0 / g$  dan  $g = 980 \text{ cm/det}^2$ ; hasilnya dapat diperiksa pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Koefisien gempa horisontal untuk berbagai perioda ulang

Perioda ulang (tahun)	$k_h (-)$
10	0,13
20	0,18
50	0,23
100	0,26

Meskipun Bendung Kalibumi tingginya hanya 14,50 m < 15,00 m, namun penanganannya perlu ditingkatkan menjadi bangunan besar karena kondisi geologi dan kegempaanannya cukup rawan. Sistem koordinat titik-titik simpul bangunan dihitung seperti pada tabel 3 dan dengan lebar pias  $b = 1,00$  m dianggap sebagai sistem beban pelat dan dinding pada bangunan. Kemudian, perhitungan stabilitas bangunan dilakukan dengan menggunakan program komputer dan data teknis tanah fondasi seperti berikut. Berat volume tanah fondasi adalah  $\gamma_n = 1,80 \text{ t/m}^3$ ,  $c_u = 3,5 \text{ t/m}^2$ , dan  $\Phi = 11^\circ$ . Parameter lainnya dan hasil analisis stabilitas dalam berbagai perioda ulang dapat diperiksa pada tabel 4.

Tabel 3 Koordinat titik simpul Bendung Kalibumi yang melewati pelimpah darurat

No.	Koordinat titik simpul	
	X	Y
1	0.00	4.50
2	0.00	10.00
3	3.85	10.00
4	3.85	21.00
5	15.85	21.00



6	15.85	15.00	17	21.85	3.00
7	19.85	15.00	18	21.85	4.00
8	19.85	10.00	19	19.85	4.00
9	23.85	10.00	20	19.85	6.00
10	27.85	8.00	21	17.85	6.00
11	52.50	6.00	22	17.85	7.50
12	52.50	7.00	23	6.10	7.50
13	54.50	7.00	24	6.10	6.00
14	54.50	2.00	25	4.10	6.00
15	53.50	2.00	26	4.10	4.50
16	52.50	3.00	27	0.00	4.50

Tabel 4. Hasil analisis stabilitas Bendung Kalibumi

NO.	Uraian	Satuan	Tanpa gempa	Dengan gempa		
				10 th	20 th	50 th
1	Berat volume beton	t/m <sup>3</sup>	2,40	2,40	2,40	2,40
2	Berat volume tanah normal	t/m <sup>3</sup>	1,80	1,80	1,80	1,80
3	Berat volume tanah jenuh	t/m <sup>3</sup>	1,85	1,85	1,85	1,85
4	Sudut geser dalam tanah	der	15,00	15,00	15,00	15,00
5	Kohesi tanah urugan	t/m <sup>2</sup>	3,50	3,50	3,50	3,50
6	Sudut geser dalam fondasi	der	10,00	10,00	10,00	10,00
7	Kohesi tanah fondasi	t/m <sup>2</sup>	3,50	3,50	3,50	3,50
8	Berat volume material fondasi	t/m <sup>3</sup>	1,80	1,80	1,80	1,80
9	Elevasi fondasi udik	m	4,50	4,50	4,50	4,50
10	Elevasi fondasi hilir	m	2,00	2,00	2,00	2,00
11	Elevasi muka air udik	m	10,00	10,00	10,00	10,00
12	Elevasi muka air hilir	m	6,00	6,00	6,00	6,00
13	Elevasi muka tanah udik	m	10,00	10,00	10,00	10,00
14	Elevasi muka tanah hilir	m	7,00	7,00	7,00	7,00
15	Koefisien gempa horisontal	-	0,00	0,13	0,18	0,23
16	Lebar dasar fondasi	m	54,50	54,50	54,50	54,50
17	Absis fondasi hilir	m	54,50	54,50	54,50	54,50
18	Jarak eksentrisitas	m	7,81	6,67	6,23	5,79
19	Eksentrisitas maksimum	m	9,08	9,08	9,08	9,08
20	FK terhadap guling	-	6,16	5,20	5,00	4,76
21	FK terhadap geser	-	43,81	1,03	0,75	0,59
22	FK daya dukung 1	-	26,10	13,77	11,65	10,10
23	FK daya dukung 2	-	1,97	2,11	2,17	2,24

Kabupaten Bandung, Propinsi Jawa Barat. Dalam rangka pengoperasian waduk bagi kepentingan air baku, dibuat menara operasi setinggi 17,50 m dari dasar fondasi. Elevasi dasar fondasi + 1094,00 m, elevasi muka tanah udik dan hilir pada + 1100,50 m, elevasi muka air waduk + 1106,50 m dan setelah dicoba-

### Contoh analisis menara Waduk Kukang

Rencana Waduk Kukang terletak di dekat kota Kecamatan Lembang

coba lebar dasar fondasi minimum sebesar 10,00 m. Besarnya koefisien gempa dengan perioda ulang 100 tahun adalah 0,16.

Parameter tanah fondasi adalah  $\Phi = 35^0$ ,  $c = 2,50 \text{ t/m}^2$ , dan  $\gamma = 1,70 \text{ t/m}^3$ .

Parameter tanah urugan adalah  $\Phi = 18^0$ ,  $c = 2,00 \text{ t/m}^2$ , dan  $\gamma_n = 1,70 \text{ t/m}^3$ ,  $\gamma_s = 1,80 \text{ t/m}^3$ . Berat volume beton diperkirakan sebesar  $2,40 \text{ t/m}^3$ ; parameter lainnya diperlihatkan pada tabel 6. Untuk mencapai nilai optimum berat bangunan maka rongga-rongga di dalam penampang tersebut dievaluasi sebagai pengurangan beratnya. Titik-titik simpulnya diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Koordinat titik simpul menara Waduk Cikukang

No.	Koordinat titik simpul	
	X	Y
1	2.00	1094.00
2	2.00	1096.00

3	3.00	1096.00
4	3.20	1098.30
5	5.50	1098.30
6	5.50	1109.00
7	8.50	1109.00
8	8.50	1096.00
9	12.00	1096.00
10	12.00	1094.00
11	8.00	1094.00
12	7.80	1108.70
13	6.30	1108.70
14	6.30	1100.44
15	7.80	1100.44
16	8.00	1094.00
17	5.50	1096.00
18	5.50	1098.00
19	3.50	1098.00
20	3.50	1096.00
21	8.00	1094.00
22	3.50	1094.00
23	6.00	1096.00
24	8.00	1096.00
25	8.00	1098.00
26	3.50	1096.00
27	3.50	1094.00
28	2.00	1094.00

Tabel 6. Hasil analisis stabilitas menara Waduk Cikukang

No.	Uraian	Satuan	Tanpa gempa	Dengan gempa $k_n=0,16$
1	Berat volume beton	$\text{t/m}^3$	2,40	2,40
2	Berat volume tanah normal	$\text{t/m}^3$	1,70	1,70

3	Berat volume tanah jenuh	$t/m^3$	1,80	1,80
4	Sudut geser dalam tanah	der	18,0	18,0
5	Kohesi tanah urugan	$t/m^2$	2,00	2,00
6	Sudut geser dalam fondasi	der	35,0	35,0
7	Kohesi tanah fondasi	$t/m^2$	2,50	2,50
8	Berat volume material fondasi	$t/m^3$	1,70	1,70
9	Elevasi fondasi udik	m	1094,00	1094,00
10	Elevasi fondasi hilir	m	1094,00	1094,00
11	Elevasi muka air udik	m	1106,50	1106,50
12	Elevasi muka air hilir	m	1106,50	1106,50
13	Elevasi muka tanah udik	m	1100,50	1100,50
14	Elevasi muka tanah hilir	m	1096,00	1100,50
15	Koefisien gempa horisontal	-	0,00	0,16
16	Lebar dasar fondasi	m	10,00	10,00
17	Absis fondasi hilir	m	12,00	12,00
18	Jarak eksentrisitas	m	1,60	1,81
19	Eksentrisitas maksimum	m	1,666	1,666
20	FK terhadap guling	-	1,28	1,49
21	FK terhadap geser	-	2,12	1,34
22	FK daya dukung 1	-	58,01	54,52
23	FK daya dukung 2	-	2873,67	-1320,10

## PEMBAHASAN

### Bendung Kalibumi

Bendung Kalibumi tingginya hanya 14,50 m dihitung dari dasar fondasi terdalam, namun bukan berarti tidak mempunyai masalah di dalam penanggulangan fondasinya. Oleh karena penanganannya tidak memadai, maka menyebabkan terjadinya kerusakan akibat gempa bumi pada tahun 2004 yang lalu. Batuan dasar yang terdiri atas lapisan pasir menyebabkan terjadinya likuifaksi sehingga memperburuk kondisi struktur di atasnya. Lapisan tanah di bawah pelimpah darurat terdiri atas lapisan lanau lempungan lunak yang berpotensi menurunnya bangunan karena kurangnya daya dukung fondasi. Hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa pengaruh gempa dengan perioda ulang 10 tahun mengakibatkan bangunan tidak aman, apalagi jika terjadi gempa

dengan perioda ulang yang lebih tinggi. Penanganan dengan tiang pancang seharusnya dapat dilakukan untuk memperbesar faktor keamanan terhadap geser maupun daya dukung. Namun, karena kesulitan dalam pelaksanaan tiang pancang pada bangunan yang sudah jadi, maka diperlukan tiang bor (*bore pile*) ke dalam lapisan beton yang sudah ada.

### Menara Waduk Cikulang

Di dalam analisis stabilitas menara ini dihadapi kesulitan dalam mencoba-coba lebar fondasi sampai memenuhi kriteria desain. Rongga-rongga yang terdapat di dalam menara berupa lubang pintu pengarah dan 2 buah terowongan pengelak sehingga mengurangi berat sendiri bangunan. Namun, lubang bangunan operasi yang berdiameter  $\Phi = 60$  cm diabaikan karena cukup kecil.

Dengan teknik penelusuran titik simpul yang berjumlah 28 buah dengan arah searah arah jarum jam dan lubang-lubang berlawanan arah jarum jam, titik-titik simpul merupakan rangkaian tertutup sehingga dapat dihitung luas bidang masif bangunan dan berat bangunannya. Teknik perhitungan ini cukup akurat dan dapat dilakukan dengan mudah dibandingkan dengan metode elemen hingga. Namun, hal ini memerlukan cara rasional yang memerlukan nomor titik simpul yang berimpit lebih dari 1 nomor. Sebagai contoh titik simpul nomor 22 berimpit dengan nomor 27, dan nomor 11 berimpit dengan nomor 16 dan 21. Selain itu untuk memperoleh penelusuran titik simpul yang tertutup, nomor 28 berimpit dengan nomor 1. Oleh karena itu, diperlukan cara coba-coba lebar dasar bangunan untuk mendapatkan dimensi yang stabil khususnya pada kondisi dengan gempa. Pada kondisi dengan gempa salah satu kaki fondasi diperkenankan mengalami tegangan tarik tetapi kaki lainnya harus memenuhi kriteria desain, agar dimensi tidak terlalu lebar.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode Simpson luas penampang sangat praktis digunakan untuk analisis stabilitas bangunan pelengkap bendungan karena:

- 1) Luas penampang dapat dihitung secara teliti.
- 2) Jumlah titik tidak terlalu banyak dibandingkan dengan metode elemen hingga atau metode elemen batas, yang memerlukan jumlah titik cukup banyak untuk mencapai ketelitian yang memadai.
- 3) Logikanya mudah dipahami sehingga pelaksanaan perhitungan akan lebih cepat, dan dapat dilakukan oleh tenaga yang tidak terlalu terampil.

### Saran

Untuk penggunaan yang lebih luas, harus diperhitungkan pula hal-hal sebagai berikut.

- 1) Tekanan hidrostatik dan hidrodinamik.
- 2) Tekanan tanah aktif dan pasif.
- 3) Tekanan angkat (*uplift*) di dasar fondasi.
- 4) Berat sendiri bangunan dan beban gempa.
- 5) Tekanan /beban terpusat di titik simpul yang dikehendaki.
- 6) *Trial and error* lebar fondasi agar proses perhitungan menjadi lebih cepat.

### DAFTAR PUSTAKA

1. John Penzien, *Gravity Dam Stability Analysis*, Alaska District, U.S. Corps of Engineers Box 7002, October 1968.
2. Joseph, E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 4-th Edition,

Mc Graw Hill, International Editions,  
copyright 1988, Singapore.

3. Samuel D. Conte cs, "*Elementary  
Numerical Analysis An Algorithmic*

Approach, Third Edition, Mc.Graw-  
Hill International Editions, copyright  
1980.