

BAB 4

DESAIN POLA PELEDAKAN DAN KAPASITAS PELEDAKAN

4.1 Pola Peledakan

Secara umum pola peledakan menunjukkan urutan atau sekuensial ledakan dari sejumlah lubang ledak. Pola peledakan pada tambang terbuka dan bukaan di bawah tanah berbeda. Banyak faktor yang menentukan perbedaan tersebut, diantaranya adalah seperti yang tercantum pada gambar 4.1 dan seterusnya, yaitu faktor yang mempengaruhi pola pengeboran. Adanya urutan peledakan berarti terdapat jeda waktu ledakan diantara lubang-lubang ledak yang disebut dengan waktu tunda atau *delay time*. Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menerapkan waktu tunda pada sistem peledakan antara lain adalah:

- 1) Mengurangi getaran
- 2) Mengurangi *overbreak* dan batu terbang (*fly rock*)
- 3) Mengurangi gegaran akibat *airblast* dan suara (*noise*).
- 4) Dapat mengarahkan lemparan fragmentasi batuan
- 5) Dapat memperbaiki ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan

Apabila pola peledakan tidak tepat atau seluruh lubang diledakkan sekaligus, maka akan terjadi sebaliknya yang merugikan, yaitu peledakan yang mengganggu lingkungan dan hasilnya tidak efektif dan tidak efisien.

4.2 Pola Peledakan pada Areal Terbuka

Mengingat area peledakan pada areal antara lain tambang terbuka atau quarry cukup luas, maka peranan pola peledakan menjadi penting jangan sampai urutan peledakannya tidak logis. Urutan peledakan yang tidak logis bisa disebabkan oleh:

- ⇒ penentuan waktu tunda yang terlalu dekat,
- ⇒ penentuan urutan ledakannya yang salah,
- ⇒ dimensi geometri peledakan tidak tepat,
- ⇒ bahan peledaknya kurang atau tidak sesuai dengan perhitungan.

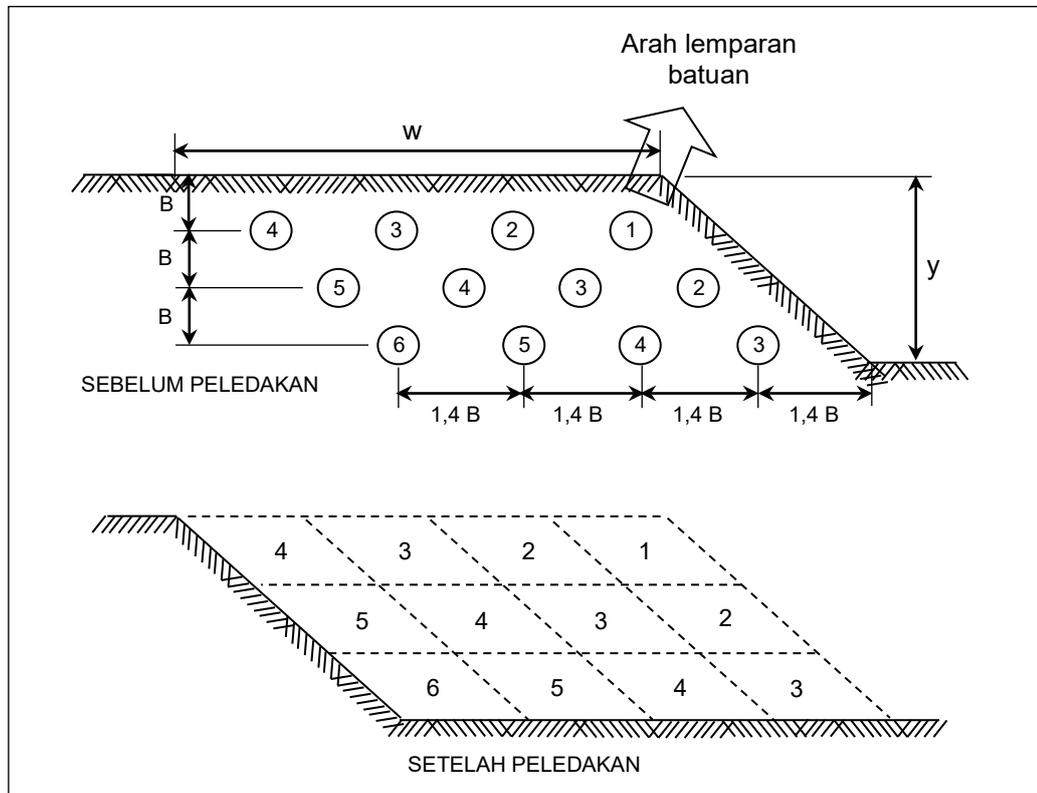
Terdapat beberapa kemungkinan sebagai acuan dasar penentuan pola peledakan pada areal terbuka, yaitu sebagai berikut:

- a. Peledakan tunda antar baris.
- b. Peledakan tunda antar beberapa lubang.
- c. Peledakan tunda antar lubang.

Orientasi retakan cukup besar pengaruhnya terhadap penentuan pola pemboran dan peledakan yang pelaksanaannya diatur melalui perbandingan spasi (S) dan burden (B).

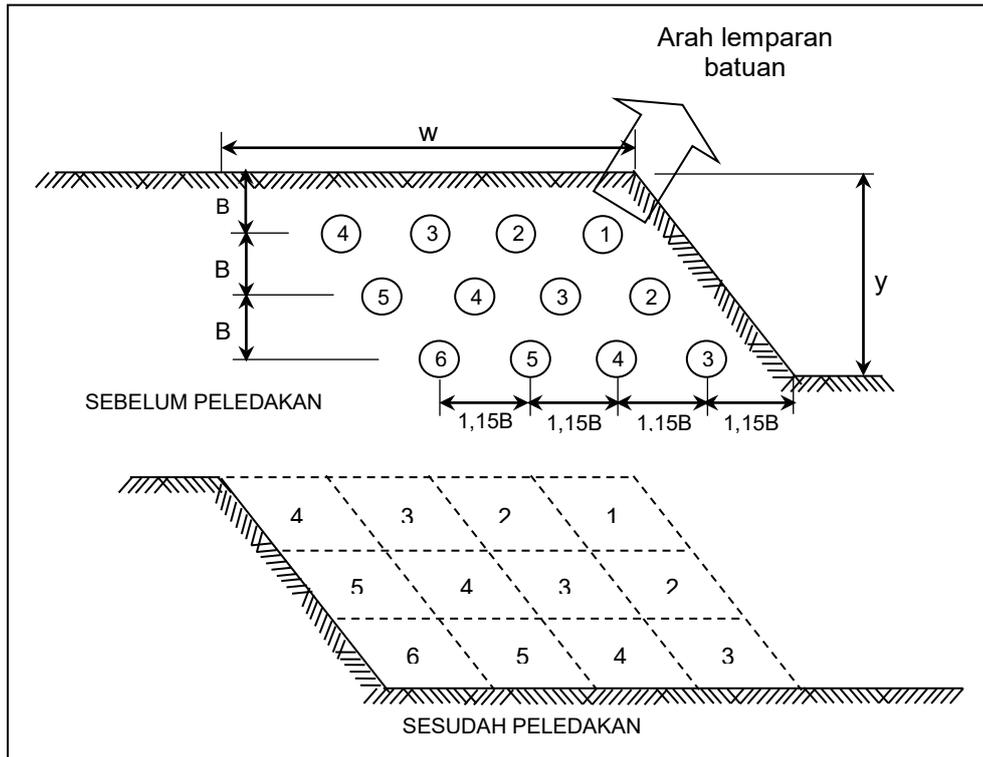
Beberapa contoh kemungkinan perbedaan kondisi di lapangan dan pola peledakannya sebagai berikut:

- 1) Bila orientasi antar retakan hampir tegak lurus, sebaiknya $S = 1,41 B$ seperti pada Gambar 1.4.

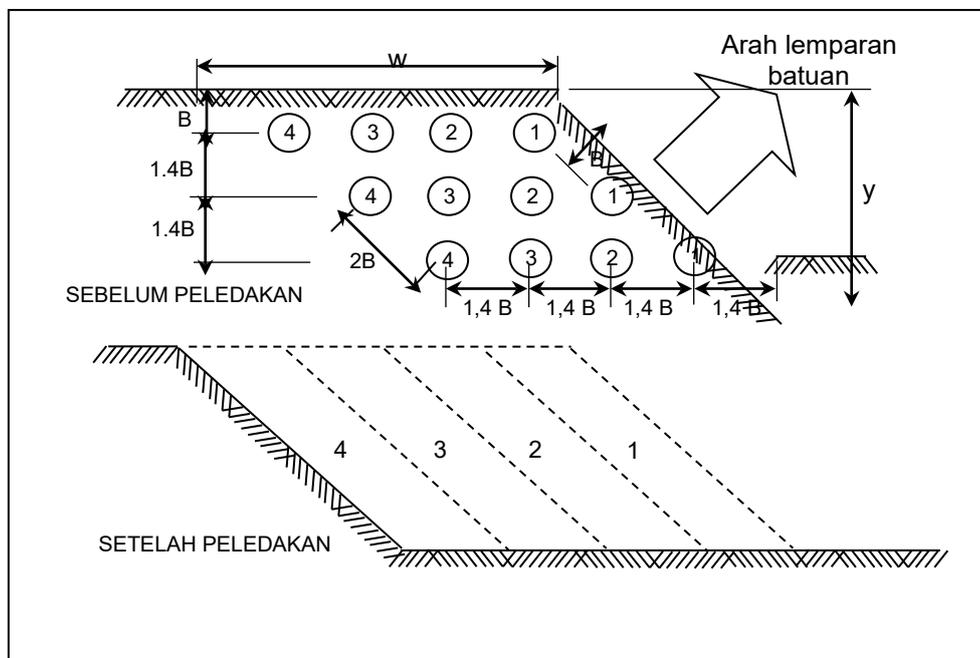


Gambar 4.1. Peledakan pojok dengan pola staggered dan sistem inisiasi *echelon* serta orientasi antar retakan 90°

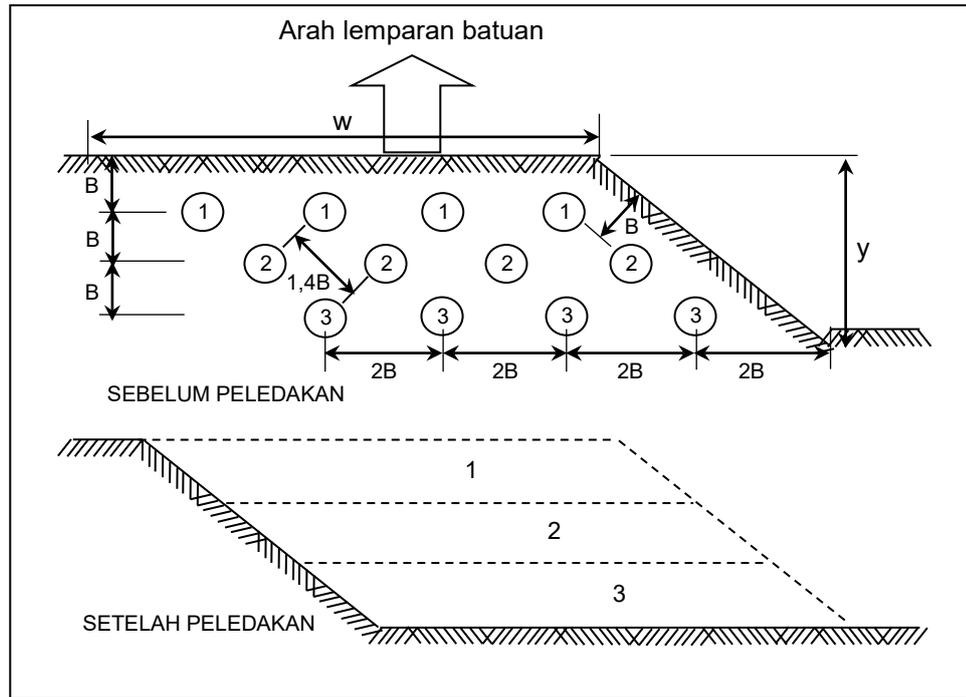
- 2) Bila orientasi antar retakan mendekati 60° sebaiknya $S = 1,15 B$ dan menerapkan interval waktu *long-delay* dan pola peledakannya terlihat Gambar 4.2.
- 3) Bila peledakan dilakukan serentak antar baris, maka ratio spasi dan burden (S/B) dirancang seperti pada Gambar 4.3 dan 4.4 dengan pola bujursangkar (*square pattern*).
- 4) Bila peledakan dilakukan pada bidang bebas yang memanjang, maka sistem inisiasi dan S/B dapat diatur seperti pada Gambar 4.5 dan 4.6.



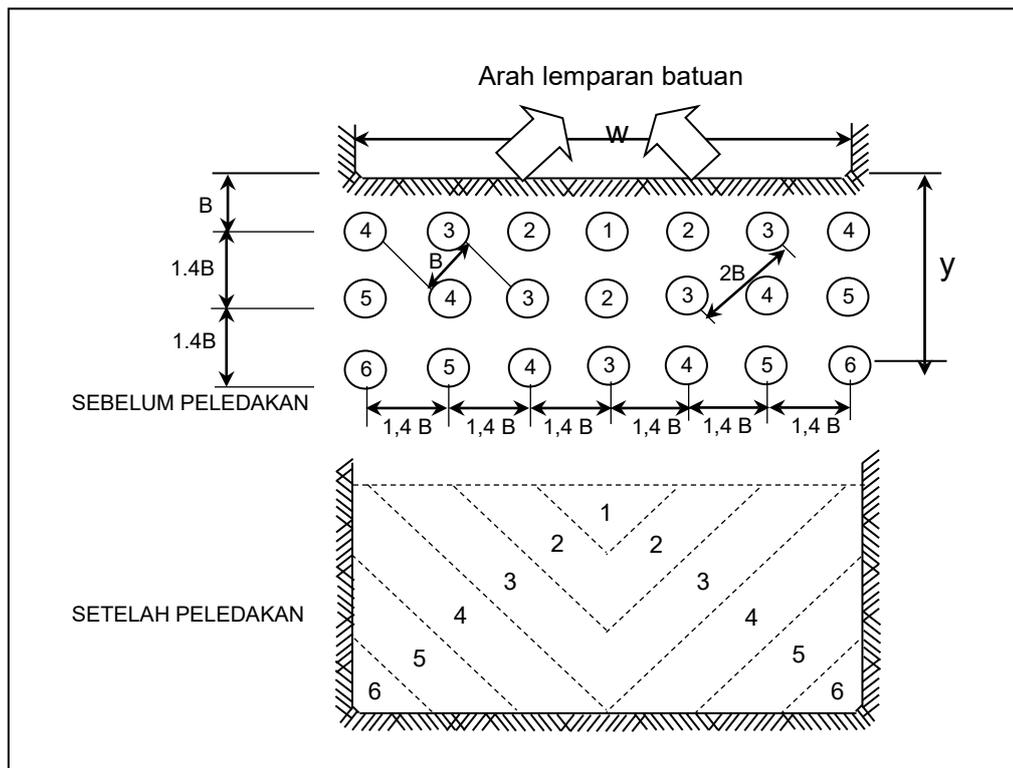
Gambar 4.2. Peledakan pojok dengan pola *staggered* dan sistem inisiasi *echelon* serta orientasi antar retakan 60°



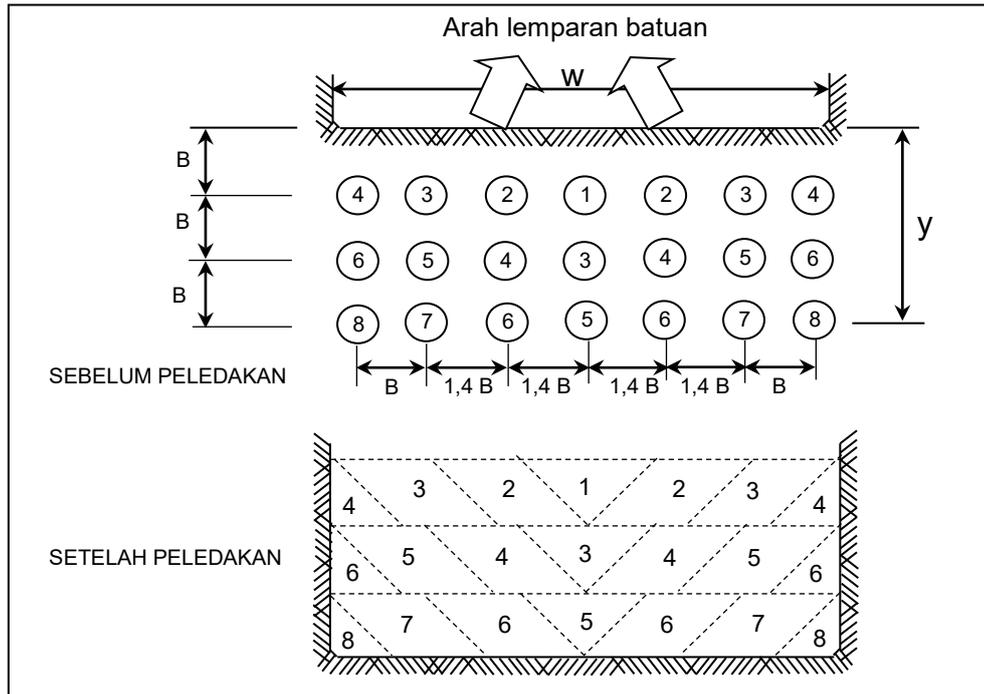
Gambar 4.3. Peledakan pojok antar baris dengan pola bujursangkar dan sistem inisiasi *echelon*



Gambar 4.4. Peledakan pojok antar baris dengan pola *staggered*



Gambar 4.5. Peledakan pada bidang bebas memanjang dengan pola V-cut bujursangkar dan waktu tunda *close-interval*

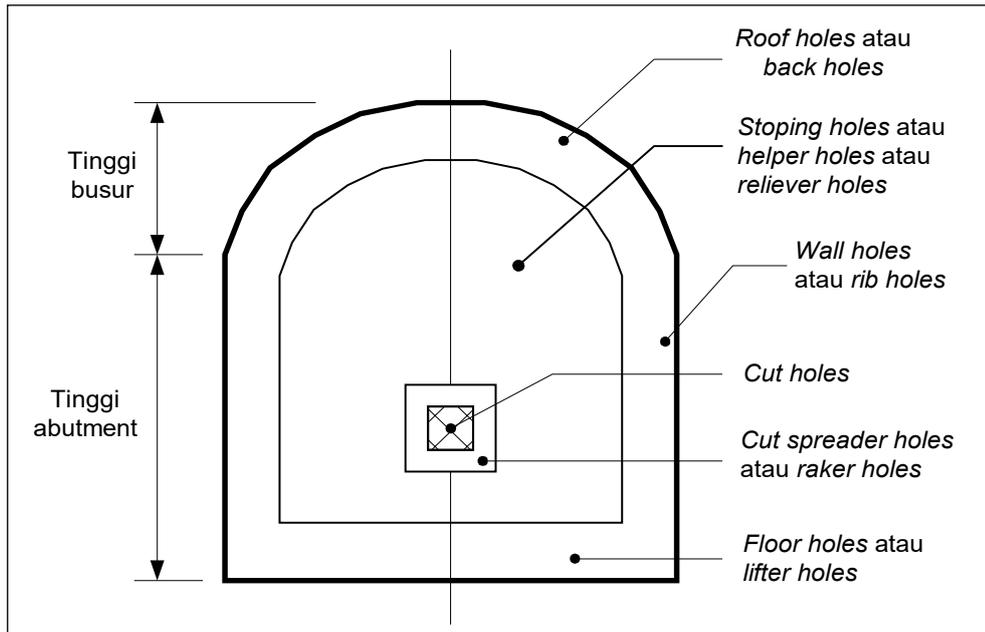


Gambar 4.6. Peledakan pada bidang bebas memanjang dengan pola V-cut persegi panjang dan waktu tunda bebas

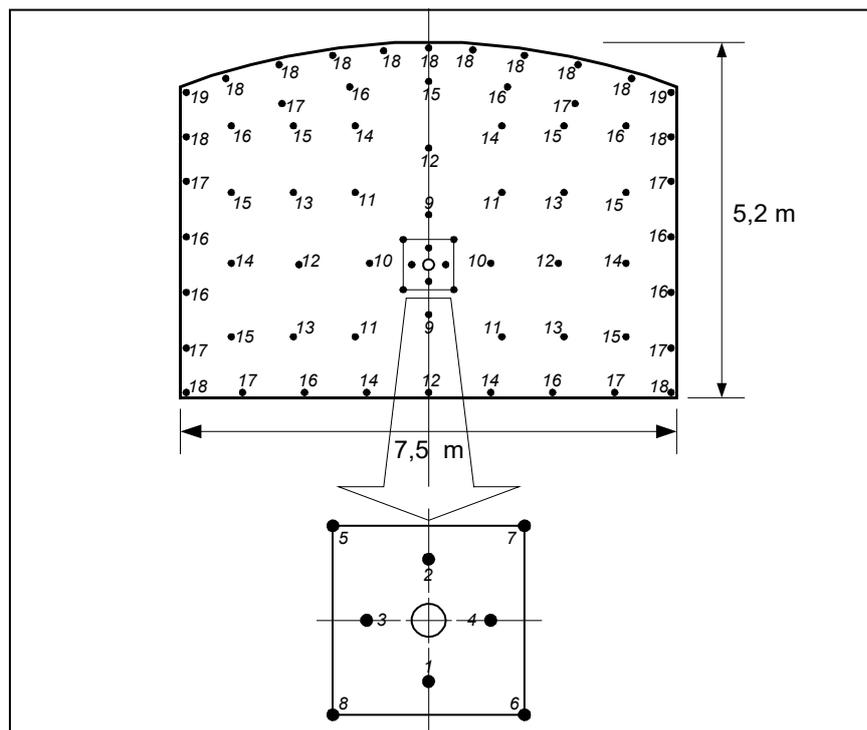
4.3 Pola peledakan bawah tanah

Prinsip pola peledakan di bawah tanah adalah sama dengan di areal terbuka, yaitu membuat sekuensial ledakan antar lubang. Peledakan pembuatan *cut* merupakan urutan pertama peledakan di bawah tanah agar terbentuk bidang bebas baru disusul lubang-lubang lainnya, sehingga lemparan batuan akan terarah. Urutan paling akhir peledakan terjadi pada sekeliling sisi lubang bukaan, yaitu bagian atap dan dinding. Pada bagian tersebut pengontrolan menjadi penting agar bentuk bukaan menjadi rata, artinya tidak banyak tonjolan atau *backbreak* pada bagian dinding dan atap.

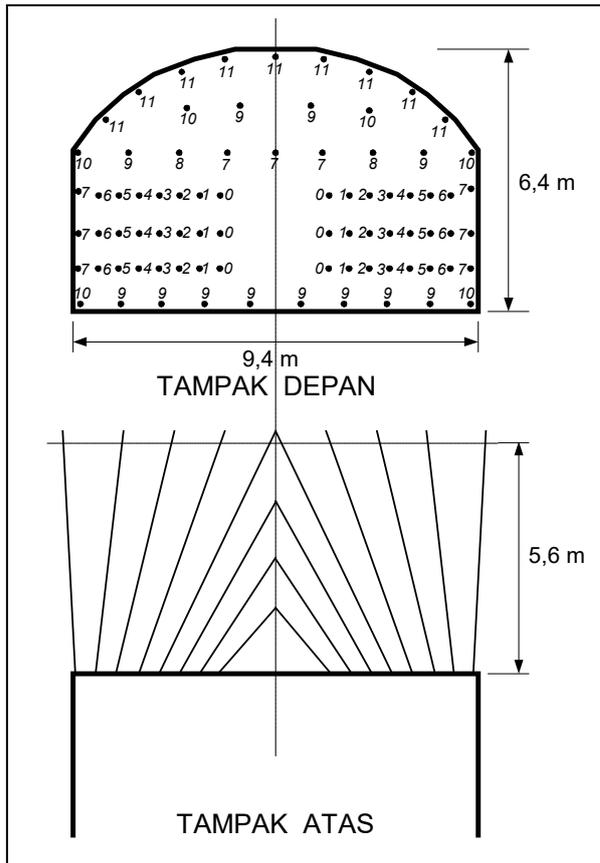
Permukaan kerja suatu bukaan bawah tanah, misalnya pada pembuatan terowongan, dibagi ke dalam beberapa kelompok lubang yang sesuai dengan fungsinya (lihat Gambar 4.7), yaitu *cut hole*, *cut spreader hole*, *stopping hole*, *roof hole*, *wall hole* dan *floor hole*. Bentuk suatu terowongan terdiri bagian bawah yang disebut *abutment* dan bagian atas dinamakan busur (*arc*). Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 memperlihatkan pola peledakan untuk membuat terowongan dengan bentuk *cut* yang berbeda masing-masing *burn cut*, *wedge cut*, dan *drag cut*.



Gambar 4.7. Kelompok lubang pada pemuka kerja suatu terowongan

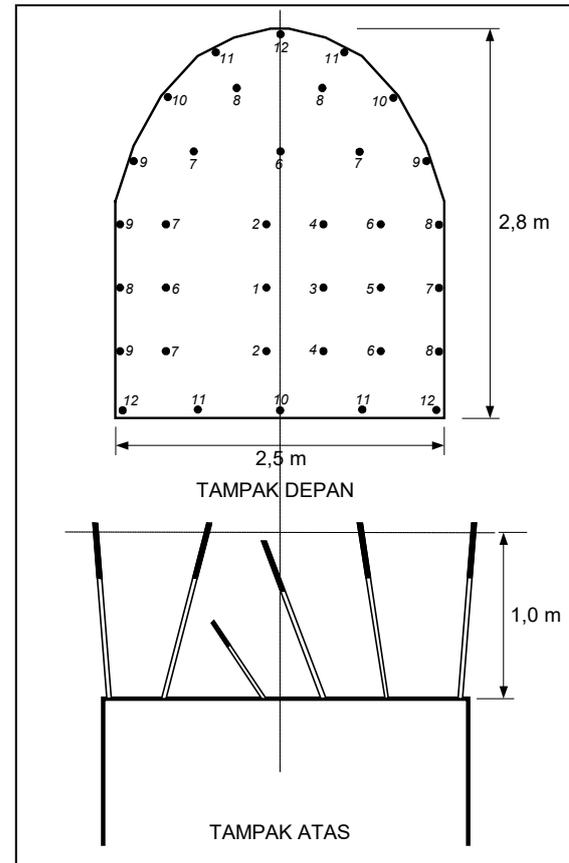


Gambar 4.8. Pola peledakan dengan burn cut pada suatu terowongan



Gambar 4.9

Pola peledakan dengan *wedge cut* pada suatu terowongan



Gambar 4.10

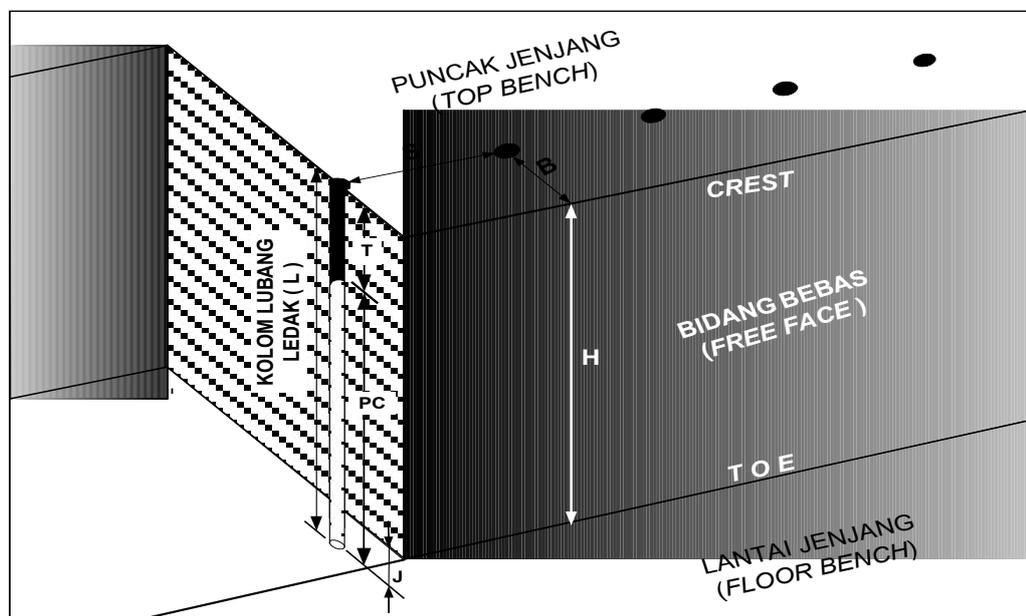
Pola peledakan dengan *drag cut* pada suatu terowongan

4.4 Geometri Peledakan Jenjang

Kondisi batuan dari suatu tempat ketempat yang lain akan berbeda walaupun mungkin jenisnya sama. Hal ini disebabkan oleh proses genesa batuan yang akan mempengaruhi karakteristik massa batuan secara fisik maupun mekanik. Perlu diamati pula kenampakan struktur geologi, misalnya retakan atau rekahan, sisipan (*fissure*) dari lempung, bidang diskontinuitas dan sebagainya. Kondisi geologi semacam itu akan mempengaruhi kemampu-ledakan (*blastability*). Tentunya pada batuan yang relatif kompak dan tanpa didominasi struktur geologi seperti tersebut di atas, jumlah bahan peledak yang diperlukan akan lebih banyak –untuk jumlah produksi tertentu– dibanding batuan yang sudah ada rekahannya. Jumlah bahan peledak tersebut dinamakan *specific charge* atau *Powder Factor* (PF) yaitu jumlah bahan peledak yang dipakai untuk setiap hasil peledakan (kg/m^3 atau kg/ton).

Terdapat beberapa cara untuk menghitung geometri peledakan yang telah diperkenalkan oleh para ahli, antara lain: Anderson (1952), Pearse (1955), R.L. Ash (1963), Langefors (1978), Konya (1972), Foldesi (1980), Olofsson (1990), Rustan

(1990) dan lainnya. Cara-cara tersebut menyajikan batasan konstanta untuk menentukan dan menghitung geometri peledakan, terutama menentukan ukuran burden berdasarkan diameter lubang tembak, kondisi batuan setempat dan jenis bahan peledak. Disamping itu produsen bahan peledak memberikan cara coba-coba (*rule of thumb*) untuk menentukan geometri peledakan, diantaranya *ICI Explosive*, *Dyno Wesfarmer Explosives*, *Atlas Powder Company*, *Sasol SMX Explosives Engineers Field Guide* dan lain-lain. Dengan memahami sejumlah rumus baik yang diberikan oleh para ahli maupun cara coba-coba akan menambah keyakinan bahwa percobaan untuk mendapatkan geometri peledakan yang tepat pada suatu lokasi perlu dilakukan. Karena berbagai rumus yang diperkenalkan oleh para ahli tersebut merupakan rumus empiris yang berdasarkan pendekatan suatu model.



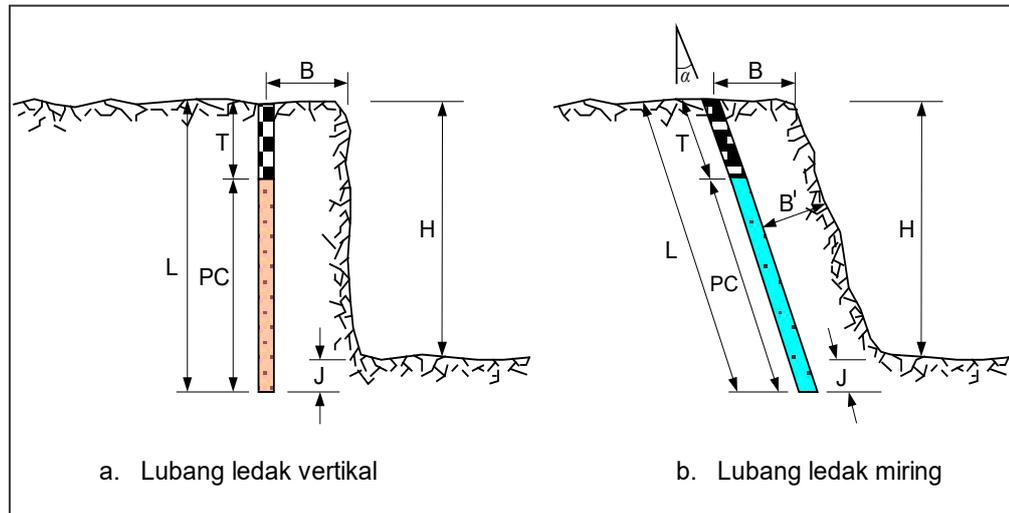
Gambar 4.11. Terminologi dan simbol geometri peledakan

Terminologi dan simbol yang digunakan pada geometri peledakan seperti terlihat pada Gambar 2.2 yang artinya sebagai berikut:

- B = burden ; L = kedalaman kolom lubang ledak
 S = spasi ; T = penyumbat (*stemming*)
 H = tinggi jenjang ; PC = isian utama (*primary charge* atau *powder column*)
 J = *subdrilling*

Lubang ledak tidak hanya vertikal, tetapi dapat juga dibuat miring, sehingga terdapat parameter kemiringan lubang ledak. Kemiringan lubang ledak akan memberikan hasil berbeda, baik dilihat dari ukuran fragmentasi maupun arah lemparannya. Untuk memperoleh kecermatan perhitungan perlu ditinjau adanya tambahan parameter geometri pada lubang ledak miring, yaitu: (lihat Gambar 4.12).

- B = burden sebenarnya (*true burden*)
 B' = burden semu (*apparent burden*)
 α = Sudut kemiringan kolom lubang ledak



Gambar 4.12. Lubang ledak vertikal dan miring

a. Rancangan menurut Konya

Burden dihitung berdasarkan diameter lubang ledak, jenis batuan dan jenis bahan peledak yang diekspresikan dengan densitasnya. Rumusnya ialah:

$$B = 3,15 \times d_e \times \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_e}{\rho_r}\right)}$$

dimana B = burden (ft), d_e = diameter bahan peledak (inci), ρ_e = berat jenis bahan peledak dan ρ_r = berat jenis batuan.

Spasi ditentukan berdasarkan sistem tunda yang direncanakan dan kemungkinannya adalah:

⇒ Serentak tiap baris lubang ledak (*instantaneous single-row blastholes*)

$$H < 4B \rightarrow S = \frac{H+2B}{3}; \quad H > 4B \rightarrow S = 2B$$

⇒ Berurutan dalam tiap baris lubang ledak (*sequenced single-row blastholes*)

$$H < 4B \rightarrow S = \frac{H+7B}{8}; \quad H > 4B \rightarrow S = 1,4B$$

⇒ *Stemming* (T): - Batuan massif, T = B
 - Batuan berlapis, T = 0,7B

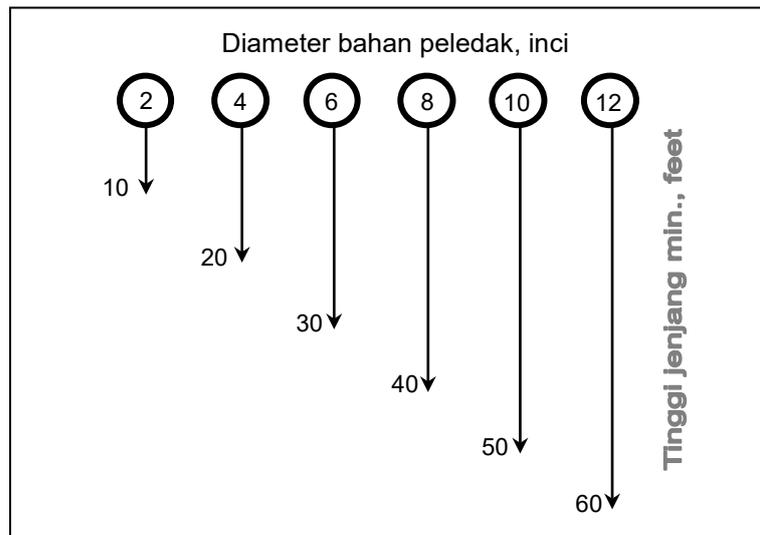
⇒ *Subdrilling* (J) = 0,3B

⇒ Penentuan diameter lubang dan tinggi jenjang mempertimbangkan 2 aspek, yaitu (1) efek ukuran lubang ledak terhadap fragmentasi, *airblast*, *flyrock*, dan getaran tanah; dan (2) biaya pengeboran. Tinggi jenjang (H) dan burden (B) sangat erat hubungannya untuk keberhasilan peledakan dan ratio H/B (yang dinamakan *Stiffness Ratio*) yang bervariasi memberikan respon berbeda terhadap fragmentasi, *airblast*, *flyrock*, dan getaran tanah yang hasilnya seperti terlihat pada Tabel 2.1. Sementara diameter lubang ledak ditentukan secara sederhana dengan menerapkan “Aturan Lima (*Rule of Five*)”, yaitu ketinggian jenjang (dalam feet) “Lima” kali diameter lubang ledaknya (dalam inci).

Tabel 4.1. Potensi yang terjadi akibat variasi *stiffness ratio*

Stiffness Ratio	Fragmen-tasi	Ledakan udara	Batu terbang	Getaran tanah	Komentar
1	Buruk	Besar	Banyak	Besar	Banyak muncul <i>back-break</i> di bagian <i>toe</i> . Jangan dilakukan dan rancang ulang
2	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Bila memungkinkan, rancang ulang
3	Baik	Kecil	Sedikit	Kecil	Kontrol dan fragmentasi baik
4	Memuaskan	Sangat kecil	Sangat sedikit	Sangat kecil	Tidak akan menambah keuntung-an bila <i>stiffness ratio</i> di atas 4

Contoh-1: Sebuah perusahaan mendapat proyek untuk memotong tebing yang akan digunakan jalan raya. Tinggi jenjang maksimum 30 ft. Karena alat yang akan digunakan kecil, maka fragmentasi harus sesuai dengan ukuran peralatan tersebut. Terdapat 2 unit alat bor yang masing-masing bisa membuat lubang ledak berdiameter 5 inci dan $7\frac{7}{8}$ inci. Rancang geometrinya agar pembongkaran tebing berhasil.



Gambar 4.13. Tinggi jenjang minimum berdasarkan “Aturan lima (*Rule of Five*)”

Penyelesaian-1: Untuk memperoleh fragmentasi yang “baik”, pilih ratio $H/B = 3$. Bahan peledak yang digunakan mempunyai densitas $0,85 \text{ gr/cc}$ dan batuan yang akan diledakkan densitasnya $2,65 \text{ ton/m}^3$. Data tersebut digunakan untuk mencari diameter bahan peledak (d_e).

➤ $H/B = 3$; dengan $H = 30 \text{ ft}$ diperoleh $B = 30/3 = 10 \text{ ft}$.

➤ Dengan menggunakan rumus $B = 3.15 \times d_e \times \left[\frac{\rho_e}{\rho_r} \right]^{1/3}$ diperoleh diameter

bahan peledak, yaitu: $10 = 3,15 \times d_e \times \left[\frac{0,8}{2,65} \right]^{1/3}$

$$d_e = \frac{10}{2.1131} = 4,73 \text{ inci} \approx 4,75 \text{ inci}$$

b. Rancangan menurut ICI-Explosives

Salah satu cara merancang geometri peledakan dengan “coba-coba” atau *trial and error* atau *rule of thumb* yang akan diberikan adalah dari ICI Explosives. Tinggi jenjang (H) dan diameter lubang ledak (d) merupakan pertimbangan pertama yang disarankan. Jadi cara ini menitikberatkan pada alat yang tersedia atau yang akan dimiliki, kondisi batuan setempat, peraturan tentang batas maksimum ketinggian

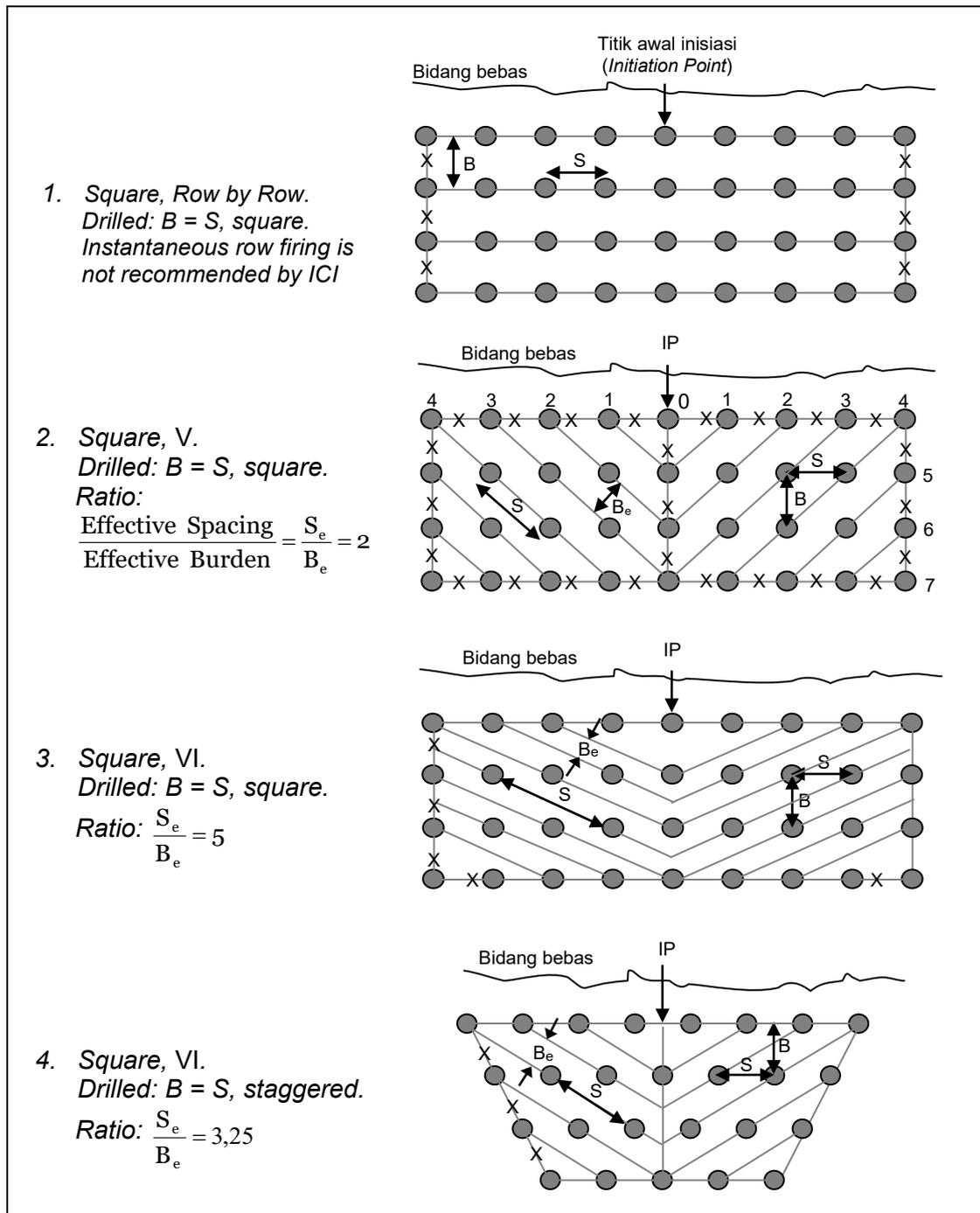
jenjang yang diijinkan Pemerintah, serta produksi yang dikehendaki. Selanjutnya untuk menghitung parameter lainnya sebagai berikut:

- (1) Tinggi jenjang (H): Secara empiris $H = 60d - 140d$.
- (2) Burden (B) antar baris; $B = 25d - 40d$
- (3) Spasi antar lubang ledak sepanjang baris (S); $S = 1B - 1,5B$
- (4) *Subgrade* (J); $J = 8d - 12 d$
- (5) *Stemming* (T); $T = 20d - 30d$
- (6) *Powder Factor* (PF);

$$PF = \frac{\text{Berat bahan peledak}}{\text{Volume batuan}} = \frac{(\text{Berat/m}) \times (\text{Panjang isian})}{(B \times S \times H)}$$

Burden dan spasi, butir (2) dan (3), dapat berubah tergantung pada sekuen inisiasi yang digunakan (lihat Gambar 2.5), yaitu:

- i. Tipe sistem inisiasi tergantung pada bahan peledak yang dipilih dan peraturan setempat yang berlaku.
- ii. Waktu tunda antar lubang sepanjang baris yang sama disarankan minimal 4 ms per meter panjang spasi.
- iii. Waktu tunda minimum antara baris lubang yang berseberangan antara 4 ms – 8 ms per meter. Dikhawatirkan apabila lebih kecil dari angka ms tersebut tidak cukup waktu untuk batuan bergerak ke depan dan konsekuensinya bagian bawah setiap baris material akan tertahan.
- iv. Waktu tunda dalam lubang (*in-hole delay*) untuk sistem inisiasi nonel direkomendasikan **tidak meledak** terlebih dahulu sampai detonator tunda di permukaan (*surface delay*) terpropagasi seluruhnya.

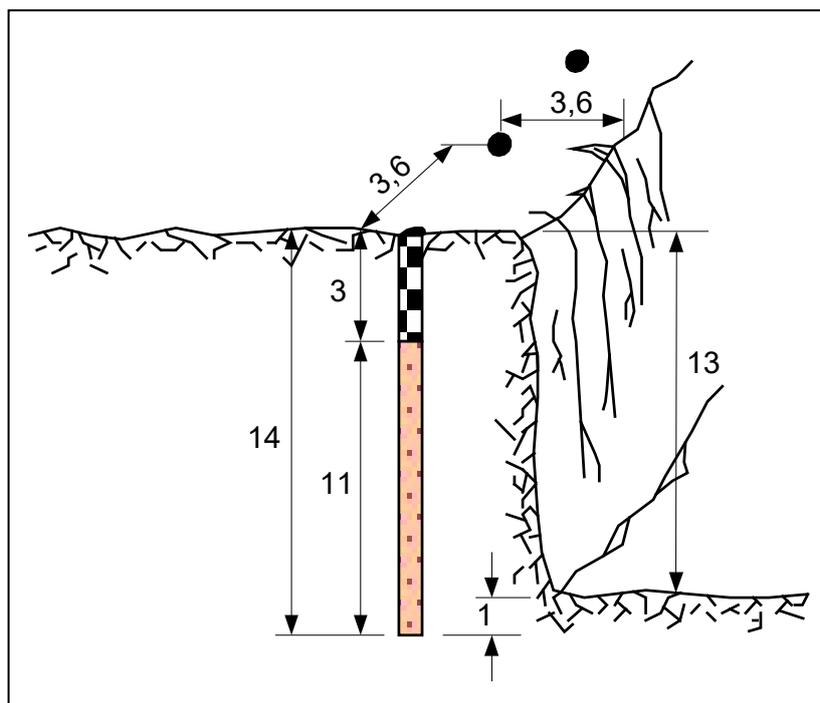


Gambar 4.14. Tipe-tipe sekuen inisiasi (dari ICI explosives)

Contoh-2: Apabila Contoh-1 dilanjutkan dengan mempertimbangkan kemampuan jangkauan alat muat 12 m dan ketinggian tersebut masih didalam batas ijin Pemerintah. Dengan menggunakan diameter lubang ledak hasil perhitungan Contoh-1, hitunglah parameter geometri peledakan lainnya.

Penyelesaian-2:

- (1) Tinggi jenjang (H) dapat ditambah 1 m, karena tumpukan fragmentasi hasil peledakan yang akan digali alat muat akan lebih rendah hingga berkurang sekitar 1 m. Jadi $H = 12 + 1 = 13$ m
 - (2) Burden (B) = $25d - 40d$;
Misalnya diambil $30d$; $B = 30 \times 4,75 = 142,5$ inci = 3,6 m
 - (3) Spasi (S) = $1B - 1,5B$
Misalnya diambil $1B$ (*square pattern*); $S = 3,6$ m
 - (4) *Subgrade* (J) = $8d - 12d$
Misalnya diambil $9d$; $J = 9 \times 4,75 = 42,75$ inci = 1,0 m
 - (5) *Stemming* (T) = $20d - 30d$
Misalnya diambil $25d$; $T = 25 \times 4,75 = 118,75$ inci = 3,0 m
 - (6) Kedalaman kolom ledak (L) = $H + J = 13 + 1 = 14$ m
 - (7) Panjang isian utama (PC) = $L - T = 14 - 3 = 11$ m
- Perhitungan *Powder Factor* akan diuraikan tersendiri pada sub-bab berikutnya dan ilustrasi geometri peledakan hasil perhitungan di atas.



Gambar 4.15. Geometri peledakan hasil perhitungan

4.5 Perencanaan Kapasitas Peledakan

4.5.1 Powder Factor (PF)

Powder factor (PF) menunjukkan jumlah bahan peledak (kg) yang dipakai untuk memperoleh satu satuan volume atau berat fragmentasi peledakan, jadi satuannya biasa kg/m^3 atau kg/ton . Pemanfaatan PF cenderung mengarah pada nilai ekonomis suatu proses peledakan karena berkaitan dengan harga bahan peledak yang digunakan dan perolehan fragmentasi peledakan yang akan dijual.

4.5.2 Perhitungan volume yang akan diledakkan

Pada tambang terbuka atau quarry, yang umumnya menerapkan peledakan jenjang (*bench blasting*), volume batuan yang akan diledakkan tergantung pada dimensi spasi, burden, tinggi jenjang, dan jumlah lubang ledak yang tersedia. Dimensi atau ukuran spasi, burden dan tinggi jenjang memberikan peranan yang penting terhadap besar kecilnya volume peledakan. Artinya volume hasil peledakan akan meningkat bila ukuran ketiga parameter tersebut diperbesar, sebaliknya untuk volume yang kecil. Sedangkan pada tambang bawah tanah, baik pembuatan terowongan atau jenis bukaan lainnya, volume hasil peledakan diperoleh dari perkalian luas permukaan kerja atau front kerja atau *face* dengan kedalaman lubang ledak rata-rata.

Prinsip volume yang akan diledakkan adalah perkalian burden (B), spasi (S) dan tinggi jenjang (H) yang hasilnya berupa balok dan bukan volume yang telah terberai oleh proses peledakan. Volume tersebut dinamakan volume padat (*solid* atau *insitu* atau *bank*), sedangkan volume yang telah terberai disebut volume lepas (*loose*). Konversi dari volume padat ke volume lepas menggunakan faktor berai atau *swell factor*, yaitu suatu faktor peubah yang dirumuskan sbb:

$$SF = \frac{V_s}{V_L} \times 100\%$$

apabila : $V_s = B \times S \times H$

maka : $V_L = \frac{B \times S \times H}{SF}$

di mana SF, V_s dan V_L masing-masing adalah faktor berai (dalam %), volume padat dan volume lepas. Apabila ditanyakan berat hasil peledakan, maka dihitung dengan mengalikan volume dengan densitas batumannya, jadi:

$$W = V \times \rho$$

di mana ρ adalah densitas batuan. Perlu diingat bahwa berat hasil peledakan baik dalam volume padat maupun volume lepas bernilai sama, tetapi densitasnya berbeda, di mana densitas pada kondisi lepas akan lebih kecil dibanding padat.

Contoh-3: Melanjutkan penyelesaian dari Contoh-2 yang telah mendapatkan spasi 3,60 m, burden 3,6 m dan tinggi jenjang 13 m. Dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya diperoleh bahwa batuan tersebut setelah diledakkan terberai dengan faktor berai 82%. Bila telah dibuat 100 lubang dan densitas batuan padat 2,50 ton/m³, hitunglah volume padat, lepas dan berat hasil peledakan seluruhnya.

Penyelesaian-3:

- $V_s = B \times S \times H$; $V_s = 3,6 \times 3,6 \times 13 = 168,50 \text{ m}^3$ (*bank*)/lubang
- Volume seluruh hasil peledakan ($V_{s\text{-total}}$) = $100 \times 168,5 = 16.850 \text{ m}^3$ (*bank*)
- $V_L = \frac{B \times S \times H}{SF} = \frac{16.850}{0,82} = 20.548,80 \text{ m}^3$ (*loose*)
- $W = 20.548,80 \times 2,5 = 51.372 \text{ ton}$

4.5.3 Perhitungan jumlah bahan peledak

Perhitungan jumlah bahan peledak dilakukan dengan loading density (densitas pengisian). Pengertian densitas pengisian (*loading density*), yaitu jumlah bahan peledak setiap meter kedalaman kolom lubang ledak (lihat tabel 2.2 atau tabel 4.1). Densitas pengisian digunakan untuk menghitung jumlah bahan peledak yang diperlukan setiap kali peledakan. Disamping itu, perhatikan pula kolom lobang ledak (L) yang terbagi menjadi “penyumbat” atau *stemming* (T) dan “isian utama” (PC). Bahan peledak hanya terdapat sepanjang kolom PC, sehingga keperluan bahan peledak setiap kolom adalah perkalian PC dengan densitas pengisian (ρ_d) atau:

$$W_{\text{handak}} = PC \times \rho_d$$

$$W_{\text{total handak}} = n \times PC \times \rho_d$$

di mana n adalah jumlah seluruh lubang ledak. Densitas pengisian (ρ_d) dicari menggunakan Tabel 2.2, yaitu angka yang diperoleh dari hasil perpotongan kolom diameter lubang ledak dengan baris densitas bahan peledak. Misalnya berapa ρ_d bila diameter lubang ledak 102 mm (4 inci) dan bahan peledak berdensitas 1,0 gr/cc. Caranya adalah dengan menarik garis horizontal dari

angka 102 mm pada kolom diameter dan berpotongan dengan garis vertikal dari densitas bahan peledak 1,0 gr/cc pada angka 8,17, jadi $\rho_d = 8,17$ kg/m.

Tabel 4.1

Densitas pengisian untuk berbagai diameter lubang ledak dan densitas bahan peledak dalam kg/m

Diameter lubang ledak		Densitas bahan peledak, gr/cc								
mm	inci	0.70	0.80	0.85	0.90	1.00	1.15	1.20	1.25	1.30
76	3.00	3.18	3.63	3.86	4.08	4.54	5.22	5.44	5.67	5.90
89	3½	4.35	4.98	5.29	5.60	6.22	7.15	7.47	7.78	8.09
102	4.00	5.72	6.54	6.95	7.35	8.17	9.40	9.81	10.21	10.62
108	4¼	6.41	7.33	7.79	8.24	9.16	10.54	10.99	11.45	11.91
114	4½	7.14	8.17	8.68	9.19	10.21	11.74	12.25	12.76	13.27
121	4¾	8.05	9.20	9.77	10.35	11.50	13.22	13.80	14.37	14.95
127	5.00	8.87	10.13	10.77	11.40	12.67	14.57	15.20	15.83	16.47
130	5 ⅛	9.29	10.62	11.28	11.95	13.27	15.26	15.93	16.59	17.26
140	5½	10.78	12.32	13.08	13.85	15.39	17.70	18.47	19.24	20.01
152	6.00	12.70	14.52	15.42	16.33	18.15	20.87	21.78	22.68	23.59
159	6¼	13.90	15.88	16.88	17.87	19.86	22.83	23.83	24.82	25.81
165	6½	14.97	17.11	18.18	19.24	21.38	24.59	25.66	26.73	27.80
178	7.00	17.42	19.91	21.15	22.40	24.88	28.62	29.86	31.11	32.35
187	7 ⅜	19.23	21.97	23.34	24.72	27.46	31.58	32.96	34.33	35.70
203	8.00	22.66	25.89	27.51	29.13	32.37	37.22	38.84	40.46	42.08
210	8¼	24.25	27.71	29.44	31.17	34.64	39.83	41.56	43.30	45.03
229	9.00	28.83	32.95	35.01	37.07	41.19	47.37	49.42	51.48	53.54
251	9 ⅞	34.64	39.58	42.06	44.53	49.48	56.90	59.38	61.85	64.33
270	10 ⅝	40.08	45.80	48.67	51.53	57.26	65.84	68.71	71.57	74.43
279	11.00	42.80	48.91	51.97	55.02	61.14	70.31	73.36	76.42	79.48
286	11¼	44.97	51.39	54.61	57.82	64.24	73.88	77.09	80.30	83.52
311	12¼	53.18	60.77	64.57	68.37	75.96	87.36	91.16	94.96	98.75
349	13¾	66.96	76.53	81.31	86.10	95.66	110.01	114.79	119.58	124.36
381	15.00	79.81	91.21	96.91	102.61	114.01	131.11	136.81	142.51	148.21
432	17.00	102.60	117.26	124.59	131.92	146.57	168.56	175.89	183.22	190.55

Contoh-4: Dari Contoh-1 diperoleh bahwa diameter lubang ledak 4,75 inci (121 mm) dengan panjang kolom PC 11 m (lihat Gambar 4.15). Bahan peledak yang digunakan ANFO yang berdensitas 0,80 gr/cc. Maka untuk untuk 100 lubang seperti Contoh-3 akan dibutuhkan bahan peledak sebagai berikut:

Penyelesaian-4:

$$W_{\text{total handak}} = n \times PC \times \rho_d$$

$$W_{\text{total handak}} = 100 \times 11 \text{ m} \times 9,2 \text{ kg/m} = 10.120 \text{ kg} = 10,12 \text{ ton}$$

4.5.4 Perhitungan PF

Powder Factor (PF) didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bahan peledak yang dipakai dengan volume peledakan, jadi satuannya kg/m³. Karena volume peledakan dapat pula dikonversi dengan berat, maka pernyataan PF bisa pula menjadi jumlah bahan peledak yang digunakan dibagi berat peledakan atau kg/ton. Volume peledakan merupakan perkalian dari B x S x H, jadi:

$$PF = \frac{W_{\text{handak}}}{B \times S \times H}$$

PF biasanya sudah ditetapkan oleh perusahaan karena merupakan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya dan juga karena berbagai pertimbangan ekonomi. Umumnya bila hanya berpegang pada aspek teknis hasil dari perhitungan matematis akan diperoleh angka yang besar yang menurut penilaian secara ekonomi masih perlu dan dapat dihemat. Tolok ukur dalam menetapkan angka PF adalah:

- (1) Ukuran fragmentasi hasil peledakan yang memuaskan, artinya tidak terlalu banyak bongkahan (*boulder*) atau terlalu kecil. Terlalu banyak bongkahan harus dilakukan peledakan ulang (*secondary blasting*) yang berarti terdapat tambahan biaya; sebaliknya, bila fragmentasi terlalu kecil berarti boros bahan peledak dan sudah barang tentu biaya pun tinggi pula. Ukuran fragmentasi harus sesuai dengan proses selanjutnya, antara lain ukuran mangkok alat muat atau ukuran umpan (*feed*) mesin peremuk batu (*crusher*).
- (2) Keselamatan kerja peledakan, artinya disamping berhemat juga keselamatan karyawan dan masyarakat disekitarnya harus terjamin,
- (3) Lingkungan, yaitu dampak negatif peledakan yang mengganggu kenyamanan masyarakat sekitarnya harus dikurangi. Dampak negatif tersebut getaran yang berlebihan, gegaran yang menyakitkan telinga dan suara yang mengejutkan.

Dari pengalaman di beberapa tambang terbuka dan quarry yang sudah berjalan secara normal, harga PF yang ekonomis berkisar antara 0,20 – 0,3 kg/m³. Pada tahap persiapan (*development*) harga PF tidak menjadi ukuran, karena tahap tersebut sasarannya bukan produksi tetapi penyelesaian suatu proyek, walaupun tidak menutup kemungkinan kadang-kadang diperoleh bijih atau bahan galian yang dapat dipasarkan.

Terdapat pula pernyataan *blasting ratio* untuk menilai keberhasilan, yaitu volume peledakan yang diperoleh per kg bahan peledak. Jadi rumusnya adalah perbandingan volume peledakan dengan bahan peledak yang digunakan (kebalikan rumus PF). Namun, pada modul ini hanya akan dipakai PF karena paling banyak digunakan pada industri pertambangan di Indonesia.

Contoh- 5: Dari Contoh-1 sampai 4 diperoleh bahwa jumlah hasil peledakan 16.850 m³ (*bank*) dengan mengkonsumsi bahan peledak 10.120 kg. Hitung PF dan apabila ternyata terlalu besar, bagaimana upaya teknis untuk penghematan yang dapat dilakukan

Penyelesaian- 5:

- a. $PF = \frac{10.120 \text{ kg}}{16.850 \text{ m}^3} = 0,60 \text{ kg/m}^3$
- b. Rancangan tersebut menghasilkan pemborosan karena PF terlalu besar, oleh sebab itu perlu dimodifikasi dengan melakukan uji coba mengubah dimensi parameter geometri peledakan dengan tolok ukur keberhasilan ukuran fragmentasi, keselamatan kerja dan lingkungan. Misalnya dilakukan modifikasi terhadap B, S dan penghematan bahan peledak menjadi sebagai berikut:
 - $V_s = B \times S \times H$; $V_s = 3,6 \times 5 \times 13 = 234 \text{ bcm/lubang}$
 - Volume seluruh hasil peledakan ($V_{S\text{-total}}$) = $100 \times 234 = 23.400 \text{ bcm}$
 - Dari hasil uji coba berkali-kali ternyata bahan peledak dari gudang bisa dikurangi dari 10.120 kg menjadi 7.500 kg per peledakan
 - Jadi, $PF = \frac{7.500 \text{ kg}}{23.400 \text{ bcm}} = 0,32 \text{ kg/bcm}$