

LAMPIRAN A



**PEMODELAN MATEMATIS PENYEBARAN TEGANGAN HASIL
LEDAKAN PADA BATUAN UNTUK LUBANG LEDAK TUNGGAL
DAN LUBANG LEDAK GANDA.**

Pemodelan matematis dibuat berdasarkan konsep penyebaran tegangan yang merupakan besaran vektor secara divergen dari sumber tegangan yaitu bahan peledak. Penyebaran tegangan ini dianggap berbentuk silindris dan analisis penyebarannya hanya dipandang pada koordinat kartesian dua dimensi yaitu pada sumbu x dan sumbu y. Penyebaran tegangan searah sumbu z atau pada arah vertikal dianggap homogen sehingga diabaikan (tegangan tidak memiliki arah tangensial antara bidang x-y dan sumbu z).

A.1 Perhitungan harga tekanan mula-mula pada dinding lubang bor

Bahan peledak memiliki tekanan karakteristik bahan peledak sebesar P_e . Dalam proses peledakan tekanan karakteristik tersebut berhubungan dengan harga perbandingan *Relative Bulk Strength* (*RBS*) dan perbandingan harga tekanan karakteristiknya terhadap massa jenis bahan peledak (Δ_e) sehingga tekanan karakteristik sesungguhnya yang dimiliki oleh bahan peledak ketika diledakan (P_e') secara matematis dinyatakan oleh persamaan A.1.

$$P_e' = P_e \cdot RBS \cdot \Delta_e \quad (A.1)$$

Tekanan yang terdistribusi pada dinding lubang bor (P_θ) ketika diledakan merupakan fungsi dari perbandingan volume lubang bor dengan volume bahan peledak (V) dan kemampuserapan batuan terhadap tekanan yang diserahkan oleh

bahan peledak, dinyatakan oleh faktor impedansi (η) serta kondisi pengungkungan lubang bor (C_f) yang memiliki nilai 0,7 untuk kondisi lubang ledak tanpa *stemming* dan 1 untuk lubang ledak yang disertai *stemming*.

$$P_0 = P_e' \cdot \eta \cdot V \cdot C_f \quad (\text{A.2})$$

dengan

$$V = \left(\frac{r_e}{r_l} \right)^2 \cdot \frac{L}{l_l} \quad (\text{A.3})$$

dan

$$\eta = 1 - \frac{(I_c - I_r)^2}{(I_c + I_r)^2} \quad (\text{A.4})$$

r_e adalah radius bahan peledak, r_l radius lubang bor, L adalah kedalaman kolom isian, l_l adalah kedalaman lubang bor, I_c adalah impedansi bahan peledak sebagai indikasi dari hubungan densitas bahan peledak dan kecepatan detonasi yang dimiliki bahan peledak serta impedansi batuan dan I_r adalah impedansi batuan indikasi dari hubungan densitas batuan dan kecepatan seismik pada batuan.

A.2 Perhitungan harga tegangan yang terdistribusi di sekitar lubang ledak tunggal

Pada saat tekanan mula-mula (P_0) menjalar pada batuan maka tekanan tersebut akan menjalar sebagai tegangan (P). Harga tegangan yang menjalar pada batuan akan berkurang terhadap jarak yang secara matematis ditunjukkan oleh rumus A.5 (Italesplosivi,1990).

$$P = P_0 \cdot \frac{r_l}{R} \quad (\text{A.5})$$

Ketika tegangan merambat pada batuan, harga tegangan tidak hanya berkurang terhadap jarak namun juga akan mengalami proses pelemahan (atenuasi) oleh batuan yang memiliki harga faktor atenuasi sebesar α dan Cl sebagai faktor koreksi terhadap *cleat* yang nilainya ditentukan pada percobaan I. Hubungan matematis yang menyatakan menurunnya harga tegangan terhadap faktor atenuasi adalah sebagai berikut :

$$\frac{dP}{dR} = -\alpha \cdot P \quad (A.6)$$

$$\int_{R_0}^R \frac{dP}{P} = -\alpha \cdot \int_{R_0}^R dR \quad (A.7)$$

$$\ln P - \ln P_0 = -\alpha \cdot \int_{R_0}^R dR \quad (A.8)$$

$$\ln P = \ln P_0 - \alpha \cdot (R - r_1) \quad (A.9)$$

$$P = P_0 \cdot e^{-\alpha(R-r_1)} \quad (A.10)$$

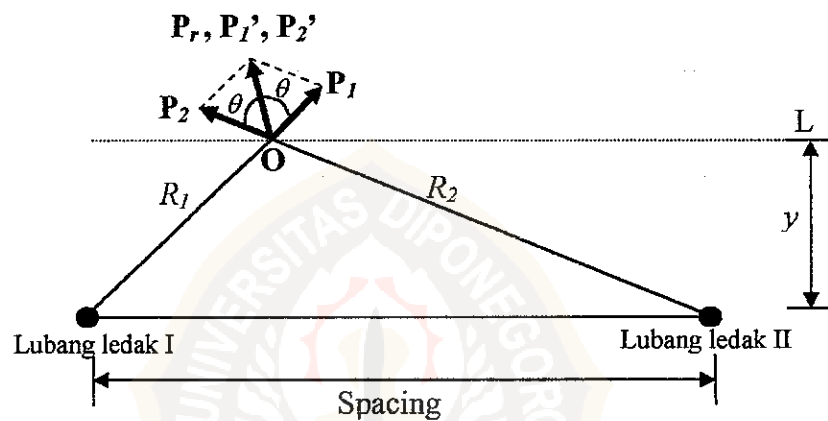
maka persamaan matematis yang menyatakan besarnya tegangan yang merambat pada batuan sebagai fungsi jarak dan faktor atenuasi dituliskan sebagai :

$$P = P_0 \cdot \frac{r_1}{R} \cdot e^{-\alpha(R-r_1)} \cdot Cl \quad (A.11)$$

persamaan matematis di atas adalah persamaan matematis yang menyatakan harga tegangan yang merambat di batuan pada lubang ledak tunggal. Rekahan yang terbentuk pada batuan akibat peledakan memiliki radius R , yaitu pada saat harga tegangan yang merambat pada batuan adalah sama dengan harga kuat tarik batuan (σ_{tr}).

A.3 Perhitungan harga tegangan yang terdistribusi di antara dua lubang ledak

Apabila terdapat dua lubang ledak yang saling berdekatan maka penggabungan tegangan dari masing-masing sumber tegangan adalah tegangan resultan di antara kedua lubang ledak. Geometri penggabungan kedua tegangan digambarkan pada gambar A.1.



Gambar A.1 Geometri tegangan resultan dari dua lubang ledak

Kajian mengenai vektor tegangan dalam mekanika dapat dapat ditelusuri dengan menganalogikan masalah-masalah mekanika kedalam permasalahan kelistrikan (Trisnobudi T, 1990)⁽¹⁾. Dalam mengkaji masalah penggabungan tegangan di antara dua lubang ledak seperti pada gambar A1, dapat dianalogikan dengan permasalahan interaksi antara dua muatan listrik (Zahn M, 1979)⁽²⁾.

Penggabungan kedua tegangan pada titik O di antara kedua lubang ledak secara matematis dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$P_r = P_1 + P_2 \quad (A.12)$$

Nilai dari vektor \mathbf{P}_1' dan \mathbf{P}_2' yaitu P_1' dan P_2' dinyatakan pada persamaan A.13 dan A.14.

$$P_1' = P_1 \cos \theta \quad (\text{A.13})$$

$$P_2' = P_2 \cos \theta \quad (\text{A.14})$$

Sehingga besarnya tegangan resultan dapat dinyatakan pada persamaan A.15 :

$$P_r = (P_1 + P_2) \cos \theta \quad (\text{A.15})$$

kedua lubang ledak memiliki karakteristik bahan peledak dan kondisi lubang bor yang sama serta diledakan secara bersamaan sehingga $P_{01} = P_{02} = P_0$, $r_{11} = r_{12} = r_1$ dan $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ maka persamaan A.15 dapat dikembangkan menjadi persamaan A.16 dan A.17.

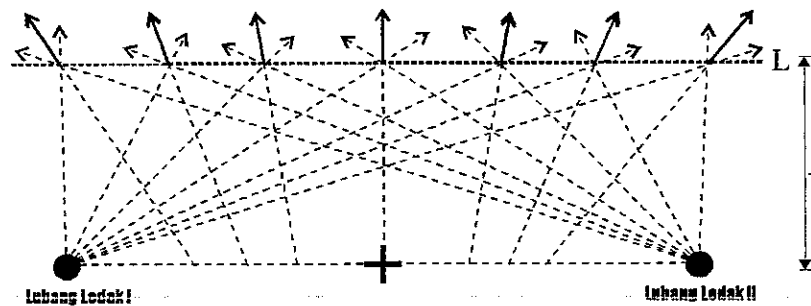
$$P_r = \left(P_0 \cdot \frac{r_1}{R_1} \cdot e^{-\alpha(R_1 - r_1)} \cdot Clt + P_0 \cdot \frac{r_1}{R_2} \cdot e^{-\alpha(R_2 - r_1)} \cdot Clt \right) \cdot \cos \theta \quad (\text{A.16})$$

$$P_r = P_0 \cdot r_1 \cdot e^{\alpha r_1} \cdot Clt \cdot \left(\frac{1}{R_1} \cdot e^{-\alpha R_1} + \frac{1}{R_2} \cdot e^{-\alpha R_2} \right) \cdot \cos \theta \quad (\text{A.17})$$

Dengan melakukan pendekatan bahwa tegangan resultan terdistribusi pada garis horizontal L pada y konstan maka (Telford, 1979),

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \text{konstan} \quad (\text{A.18})$$

sehingga persamaan yang berada di dalam kurung pada persamaan A.17 akan bernilai konstan dengan demikian distribusi tegangan pada garis horisontal L pada persamaan A.17 merupakan fungsi dari variabel sudut θ .



Gambar A.2 Distribusi tegangan resultan dari dua lubang ledak pada garis L

Pada gambar A.2 dapat kita ketahui bahwa harga θ bervariasi pada distribusi tegangan resultan sepanjang garis L. Dengan menerapkan syarat batas pengamatan perubahan sudut θ hanya pada daerah di antara kedua lubang ledak dapat diketahui bahwa harga θ akan memiliki minimum ($< 90^\circ$) pada titik-titik tepat di atas lubang ledak dan memiliki nilai maksimum ($< 180^\circ$) tepat pada titik tengah di antara lubang ledak. Harga θ minimum akan menghasilkan harga $\cos\alpha$ maksimum dan harga θ maksimum akan menghasilkan harga $\cos\alpha$ minimum. Variasi harga $\cos\theta$ ini akan menentukan harga tegangan resultan yang terdistribusi pada garis L sehingga diperoleh syarat batas harga tegangan resultan sebagai berikut,

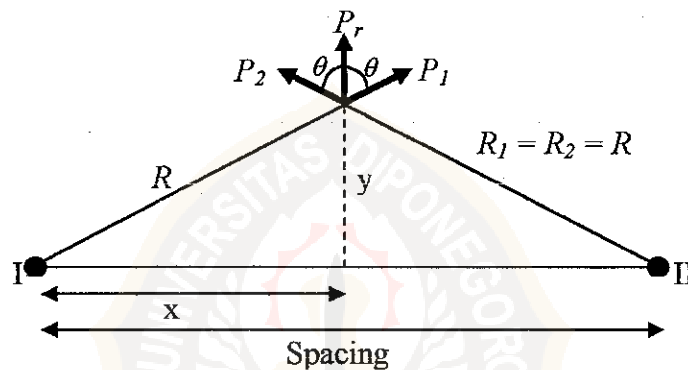
Harga tegangan resultan (P_r)

- = maksimum pada θ minimum yaitu pada titik di atas lubang ledak
- = minimum pada θ maksimum yaitu pada titik tengah di antara lubang ledak

spacing lubang ledak optimal dapat diperoleh apabila spacing yang diterapkan mampu menghasilkan harga tegangan resultan minimum untuk menghasilkan harga tegangan tarik yang sama dengan harga kuat tarik batuan. Dengan demikian

pemodelan matematis perlu diarahkan pada pencarian harga tegangan resultan minimum yang terdistribusi pada garis horizontal L maka perumusan yang perlu digunakan adalah perumusan tegangan resultan pada titik tengah di antara lubang ledak.

Pada titik tengah di antara lubang ledak geometri vektor-vektor tegangan adalah simetris sehingga harga R_1 dan R_2 adalah sama dengan R seperti yang ditunjukkan oleh gambar A.3.



Gambar A.3 Geometri tegangan resultan pada titik tengah di antara lubang ledak

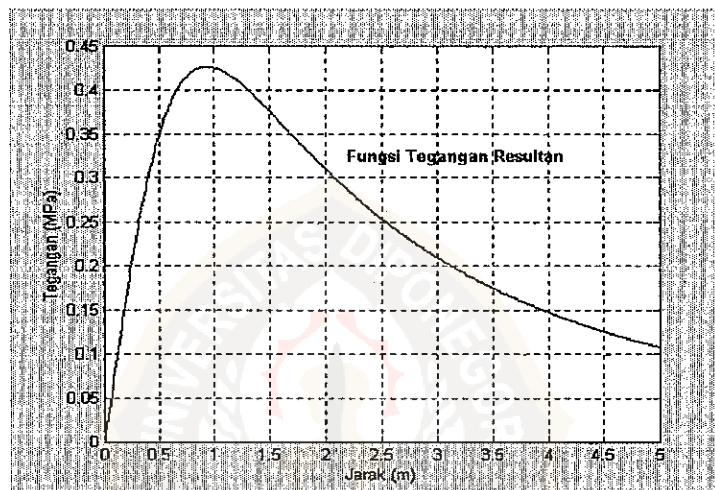
Kondisi simetris ini akan membuat persamaan A.17 berubah untuk harga R yang sama, sehingga persamaannya menjadi,

$$P_r = 2 \cdot P_0 \cdot \frac{r_l}{R} \cdot e^{-(R-r_l)} \cdot Clt \cdot \cos \theta \quad (\text{A.19})$$

diketahui bahwa $R = (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}$ dan $\cos \theta = \frac{y}{R} = \frac{y}{(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}}$ sehingga

$$P_r = 2 \cdot P_0 \cdot \frac{r_l}{(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}} \cdot e^{-a \left((x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} - r_l \right)} \cdot Clt \cdot \frac{y}{(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{A.20})$$

persamaan A.20 adalah persamaan yang menjelaskan harga tegangan resultan yang terdistribusi di setiap titik di sumbu y pada jarak tengah di antara lubang ledak. Tegangan yang paling berpengaruh pada terbentuknya rekahan diasumsikan hanya pada tegangan yang memiliki harga maksimal yang terdistribusi sepanjang sumbu y . Melalui analisis grafik dapat diperoleh perbandingan harga y terhadap x pada x konstan untuk mengetahui tekanan maksimum pada sumbu y .



Gambar A.4 Grafik persamaan tegangan resultan di antara lubang ledak pada x konstan.

Melalui analisa grafik diketahui bahwa tegangan maksimum diperoleh pada perbandingan y terhadap x sebesar 0.95 untuk variasi faktor atenuasi (α) yang terdapat pada batuan dari 0.01 - 0.2. Spasing optimal yaitu sebesar dua kali harga x dapat diketahui pada jarak dimana harga tegangan resultan maksimum sama dengan harga kuat tarik batuan.

Maka spacing optimal di antara lubang ledak dapat diperoleh dengan menggunakan dua kali harga x yang diperoleh pada persamaan A.21 pada $y = 0,95$.

$$P_{r-maks} = 2 \cdot P_0 \cdot \frac{r_l \cdot y}{(x^2 + y^2)} \cdot e^{-\alpha \left((x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} - r_l \right)} \cdot Clt \quad (A.21)$$

Sumber analogi kelistrikan :

1. Trisnobudi, *Teori Ultrasonic*, Bandung, 1990, bab II, *Gelombang Akustik*, hal. 41.
2. Markus Zahn, *Electromagnetic Theory : A Problem Solving approach*, Massachusetts, 1979, bab II, *The Electric Field : Superposition*, hal. 58.



LAMPIRAN B



LISTING PROGRAM

D.1 Rijoblast.m

```
function varargout = Rijoblast(varargin)
% RIJOBBLAST Application M-file for Rijoblast.fig
% FIG = RIJOBBLAST launch Rijoblast GUI.
% RIJOBBLAST('callback_name', ...) invoke the named callback.

% Last Modified by GUIDE v2.0 10-Aug-2003 22:03:39
% Created by Supriohadi Koswara - J2D 098 202
if nargin == 0 % LAUNCH GUI

    fig = openfig(mfilename,'reuse');

    % Use system color scheme for figure:
    set(fig,'Color',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));

    % Generate a structure of handles to pass to callbacks, and store it.
    handles = guihandles(fig);
    guidata(fig, handles);
    gambar=imread('rijover','jpg');
    [x1,y1,z1]=size(gambar);
    set(handles.gambar_axes,'XLim',[1,x1],'XTick',[],...
        'YDir','reverse','YLim',[1,y1],'YTick',[]);
    image('Parent',handles.gambaraxes,'CData',gambar);

    if nargout > 0
        varargout{1} = fig;
    end

elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK

    try
        if (nargout)
            [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        else
            feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        end
    catch
        disp(lasterr);
    end

end

% -----
function varargout = pushbutton1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
password
delete(handles.figure1)
% -----
function varargout = pushbutton2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
info
```

```
% -----
function varargout = pushbutton3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
confirm1
delete(handles.figure1)
```

D.2 Rijocount.m

```
function varargout = Rijocount(varargin)
% RIJOCOUNT Application M-file for Rijocount.fig
% FIG = RIJOCOUNT launch Rijocount GUI.
% RIJOCOUNT('callback_name', ...) invoke the named callback.

% Last Modified by GUIDE v2.0 12-Aug-2003 23:17:50
% Created by Supriohadi Koswara - J2D 098 202

if nargin == 0 % LAUNCH GUI

    fig = openfig(mfilename,'reuse');

    % Use system color scheme for figure:
    set(fig,'Color',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));

    % Generate a structure of handles to pass to callbacks, and store it.
    handles = guihandles(fig);
    guidata(fig, handles);

    if nargin > 0
        varargout{1} = fig;
    end

elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK

    try
        if (nargout)
            [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        else
            feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        end
    catch
        disp(lasterr);
    end

end

% -----
% DEKLARASI INPUT - G U I
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function varargout = edit1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
function varargout = edit2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
function varargout = edit3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
function varargout = edit4_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
function varargout = edit5_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
function varargout = edit6_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
function varargout = edit7_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
```



```

edit9_Handle=findobj('Tag','edit9');re=str2num(get(edit9_Handle,'String'));
edit10_Handle=findobj('Tag','edit10');le=str2num(get(edit10_Handle,'String'));
edit11_Handle=findobj('Tag','edit11');jumE=str2num(get(edit11_Handle,'String'));
edit12_Handle=findobj('Tag','edit12');rl=str2num(get(edit12_Handle,'String'));
edit13_Handle=findobj('Tag','edit13');St=str2num(get(edit13_Handle,'String'));
edit14_Handle=findobj('Tag','edit14');l=str2num(get(edit14_Handle,'String'));
%-----
% Cek data masukan
%-----
% Perhitungan harga tekanan pada dinding lubang ledak
nolpressure
% Perhitungan harga tegangan dari lubang ledak tunggal pada jarak x
doubleholes

% -----
function varargout = pushbutton3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
delete(handles.figure1)
rijocount

% -----
% SIMPAN DATA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function varargout = pushbutton4_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
edit1_Handle=findobj('Tag','edit1');RhoB=str2num(get(edit1_Handle,'String'));
edit2_Handle=findobj('Tag','edit2');Cr=str2num(get(edit2_Handle,'String'));
edit3_Handle=findobj('Tag','edit3');alpha=str2num(get(edit3_Handle,'String'));
edit4_Handle=findobj('Tag','edit4');Clt=str2num(get(edit4_Handle,'String'));
edit5_Handle=findobj('Tag','edit5');Ts=str2num(get(edit5_Handle,'String'));
edit6_Handle=findobj('Tag','edit6');RhoE=str2num(get(edit6_Handle,'String'));
edit7_Handle=findobj('Tag','edit7');VOD=str2num(get(edit7_Handle,'String'));
edit8_Handle=findobj('Tag','edit8');RBS=str2num(get(edit8_Handle,'String'));
edit9_Handle=findobj('Tag','edit9');re=str2num(get(edit9_Handle,'String'));
edit10_Handle=findobj('Tag','edit10');le=str2num(get(edit10_Handle,'String'));
edit11_Handle=findobj('Tag','edit11');jumE=str2num(get(edit11_Handle,'String'));
edit12_Handle=findobj('Tag','edit12');rl=str2num(get(edit12_Handle,'String'));
edit13_Handle=findobj('Tag','edit13');St=str2num(get(edit13_Handle,'String'));
edit14_Handle=findobj('Tag','edit14');l=str2num(get(edit14_Handle,'String'));
Data = [RhoB      Cr      alpha      Clt;
        Ts      RhoE      VOD      RBS;
        re      le      jumE      rl;
        St      l      0      0];

[namafile,namapath]=uiputfile({'*.dmi','*.*'},'Simpan data');
% Jika dipilih "Cancel" maka kembali ke menu semula
if isequal ([namafile,namapath],[0,0])
    return
%Jika dipilih "Save" selanjutnya data disimpan dalam file sesuai
%dengan nama file yang kita tuliskan
else
    File=fullfile(namapath,namafile);
    save([File,'.dmi'],'Data','-mat');
end

```

```

%
% AMBIL DATA
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function varargout = pushbutton5_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
[namafile, namapath]=uigetfile('*.*dmi','Buka data');
if isequal ([namafile, namapath],[0,0]);
    return
else
    File=fullfile(namapath,namafile);
    load (File,'-mat');
    set(handles.edit1,'string',num2str(Data(1,1)));
    set(handles.edit2,'string',num2str(Data(1,2)));
    set(handles.edit3,'string',num2str(Data(1,3)));
    set(handles.edit4,'string',num2str(Data(1,4)));
    set(handles.edit5,'string',num2str(Data(2,1)));
    set(handles.edit6,'string',num2str(Data(2,2)));
    set(handles.edit7,'string',num2str(Data(2,3)));
    set(handles.edit8,'string',num2str(Data(2,4)));
    set(handles.edit9,'string',num2str(Data(3,1)));
    set(handles.edit10,'string',num2str(Data(3,2)));
    set(handles.edit11,'string',num2str(Data(3,3)));
    set(handles.edit12,'string',num2str(Data(3,4)));
    set(handles.edit13,'string',num2str(Data(4,1)));
    set(handles.edit14,'string',num2str(Data(4,2)));
end

%
% BANTUAN
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function varargout = pushbutton6_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
info

% -----
function varargout = pushbutton7_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
densitasB

% -----
function varargout = pushbutton8_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
kecSeis

% -----
function varargout = pushbutton9_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
fakAtt

% -----
function varargout = pushbutton10_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
densitasE

% -----
function varargout = pushbutton11_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
VOD

```



```

%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% PERHITUNGAN SPACING
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function varargout = pushbutton12_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
edit15_Handle=findobj('Tag','edit15');x=str2num(get(edit15_Handle,'String'));
Spacing=2*x

%
% TUTUP PROGRAM
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function varargout = pushbutton13_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
confirm2
delete(handles.figure1)

```

D.3 nolpressure.m

```

% PERHITUNGAN HARGA TEKANAN PADA DINDING LUBANG LEDAK

```

```

% Konversi
Le=le*jumE
Rbs=RBS/100
Pe=Rbs*813
L=l-St
Gs=RhoE/1000

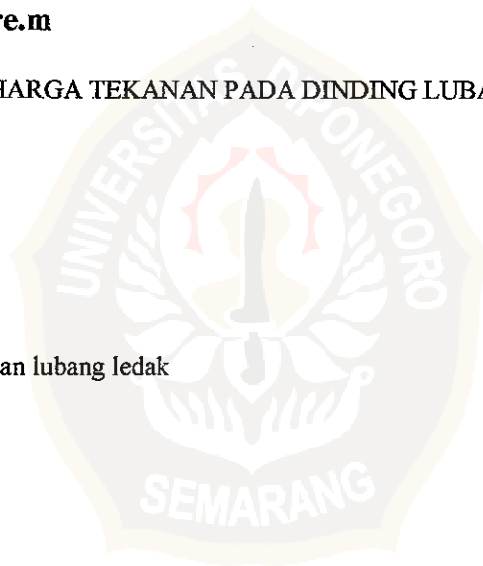
% Kondisi pengukungan lubang ledak
if St==0
    Ucf=0.7
elseif St>0
    Ucf=1
end

% Perhitungan Faktor Impedansi
Ib=RhoB*Cr
Ie=RhoE*VOD
N=1-(((Ie-Ib)^2)/((Ie+Ib)^2))

% Perhitungan Perbandingan Volume
V=(((re/rl)^2)*(Le/L))

% Harga Tekanan pada dinding lubang ledak
Po=Pe*N*V*Gs*Ucf

```



D.4 monohole.m

```
% PERHITUNGAN RADIUS REKAHAN PADA LUBANG LEDAK TUNGGAL
```

```
% Pemilihan kondisi cleat terhadap arah rekahan / arah bentangan
```

```
Arah_Handle=findobj('Tag','popupmenu1');
```

```
val=get(Arah_Handle,'Value');
```

```
switch val
```

```
case 1
```

```
    val=1
```

```
case 2
```

```
    val=2
```

```
end
```

```
if val==1
```

```
    c=1
```

```
elseif val==2
```

```
    c=Clt
```

```
end
```

```
% Jarak dari lubang bor
```

```
x=(re:0.0005:3);
```

```
% Harga tegangan dari lubang ledak tunggal pada jarak x
```

```
Ps=Po.*(r1./x).*(exp(-alpha.*(x-r1))).*c;
```

```
% Pembuatan grafik tegangan (Pssc) terhadap jarak (x)
```

```
plot(x,Ps,'b-',x,Ts,'r-',x,Ts,'r.')
```

```
xlabel('Jarak (m)')
```

```
ylabel('Tegangan (MPa)')
```

```
title('Grafik Penurunan Harga Tegangan terhadap Jarak Pada Lubang Ledak Tunggal')
```

```
legend('Tegangan','Kuat Tarik')
```

```
grid on
```

```
zoom on
```

```
box on
```

D.5 doubleholes.m

```
% PERHITUNGAN HARGA X (1/2 SPASING) OPTIMAL PADA LUBANG LEDAK  
TUNGGAL
```

```
% Pemilihan kondisi cleat terhadap arah rekahan / arah bentangan
```

```
Arah_Handle=findobj('Tag','popupmenu1');
```

```
val=get(Arah_Handle,'Value');
```

```
switch val
```

```
case 1
```

```
    val=1
```

```
case 2
```

```
    val=2
```

```
end
```

```
if val==1
```

```
    c=1
```

```
elseif val==2
```

```
    c=Clt
```

```

end

% Jarak dari lubang bor
x=(r1:0.0005:3);

% Penentuan harga tegangan maksimal
y=0.95.*x;
Ymax=(y./((y.^2)+(x.^2))).*exp(-alpha*(((y.^2)+(x.^2)).^(1/2)));

% Harga tegangan dari lubang ledak tunggal pada jarak x
Pd=2*Po*r1*(exp(alpha*r1))*Ymax*c;

% Pembuatan grafik tegangan (Pssc) terhadap jarak (x)
plot(x,Pd,'b-',x,Ts,'r-',x,Ts,'r.')
xlabel('Jarak Setengah Spacing (m)')
ylabel('Tegangan (MPa)')
title('Grafik Penurunan Harga Tegangan terhadap Jarak Pada Lubang Ledak Ganda')
legend('Tegangan','Kuat Tarik')
grid on
zoom on
box on

```



LAMPIRAN C



DATA HASIL PERCOBAAN

C.1. Percobaan I

1. Tanggal / waktu : 22 Maret 2002 / 13.30 WIB.
2. Cuaca : Cerah.
3. Lokasi / batubara : Jalur 4, Deep Step / B1, Tambang Air Laya, Tj.

Enim.

4. Tujuan :
Mengetahui pengaruh keberadaan cacat batuan berupa *cleat* pada batubara terhadap pembentukan rekahan akibat peledakan.

5. Spesifikasi :
 - a. Spesifikasi Batuan :
 - Densitas : $2,057 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.
 - Kecepatan seismik : $1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.
 - Faktor attenuasi : 0,09 (Nilai median dari interval α batuan sedimen, yaitu : 0,16 – 0,02)

Kuat tarik : 0,827 Mpa (Harga statistik)

- b. Spesifikasi bahan peledak :
 - Merek : Power Gel Magnum 3151
 - Densitas : $1,23 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.
 - VOD : $4,8 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.
 - RBS : 183 % (ANFO / *Specific Pressure* (Ps) : 813 Mpa).

Radius : 0,016 m.

Panjang : 0,2 m.

Jumlah : 1 buah.

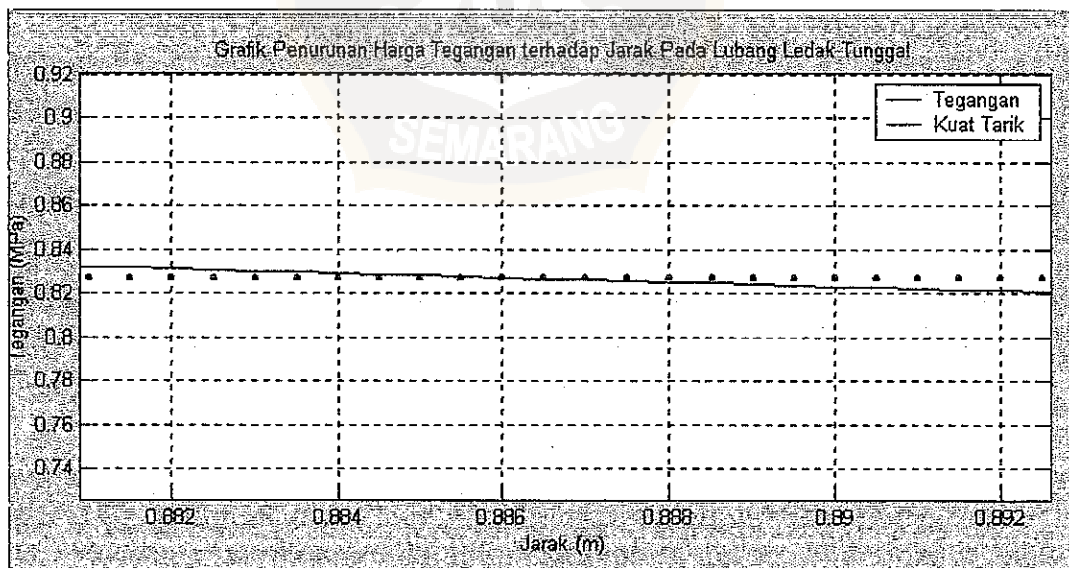
c. Spesifikasi lubang bor :

Radius : 0,075 m.

Kedalaman : 1 m (tanpa stemming).

6. Perhitungan perkiraan radius rekahan terjauh hasil peledakan.

Perhitungan perkiraan radius rekahan terjauh hasil peledakan menggunakan program **Rijoblast** berbasis program MATLAB versi 6.1. Hasil perhitungan berupa grafik perpotongan kurva penurunan harga tegangan terhadap jarak dengan garis harga kuat tarik batuan pada gambar C.1.

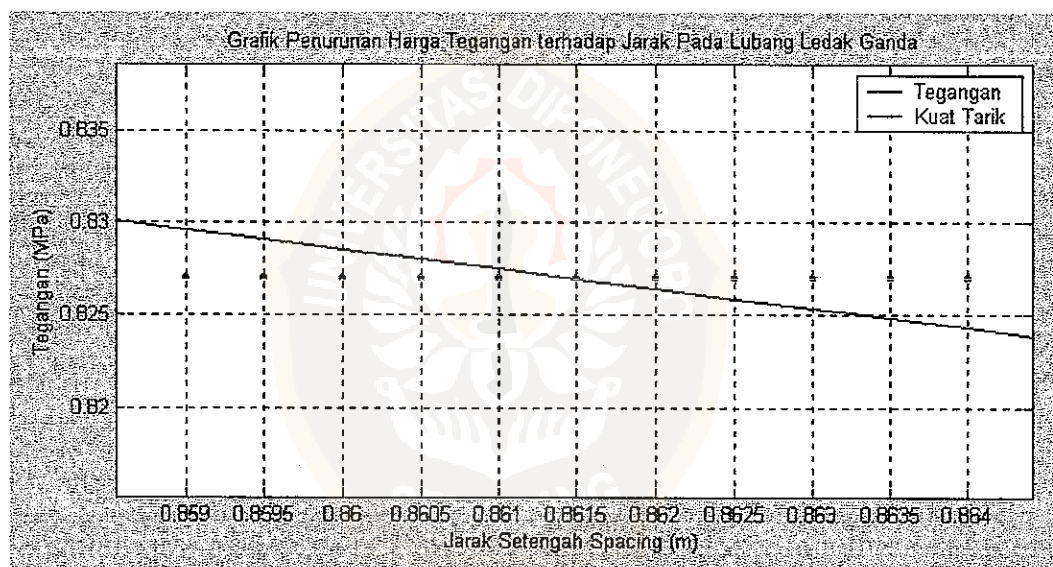


Gambar C.1. Grafik tampilan program **Rijoblast** pada lubang ledak

tunggal

Hasil perhitungan program diperoleh perkiraan radius rekahan terjauh 0,888 m.

Agar tercapai kondisi lubang ledak yang saling bebas (*independent*) satu sama lain, maka perlu diketahui harga spacing dari dua lubang ledak sebagai acuan jarak tedekat yang tidak boleh diterapkan dilapangan. Hasil perhitungan jarak setengah spacing diperoleh berupa grafik perpotongan kurva penurunan harga tegangan terhadap jarak dengan garis harga kuat tarik batuan pada gambar C.2.



Gambar C.2. Grafik tampilan program **Rijoblast** pada lubang ledak ganda

Hasil perhitungan program diperoleh perkiraan jarak setengah spacing 0,8615 m maka spacing antara lubang ledak adalah dua kali harga setengah spacing yaitu sebesar 1,723 m. Pada penerapan percobaan 1 di lapangan di tentukan jarak antara lubang ledak yang lebih besar dari harga spacing optimalnya.

7. Data pengukuran radius rekahan di lapangan.

**DATA PENGUKURAN RADIUS REKAHAN YANG TERBENTUK
PADA LUBANG TEMBAK TUNGGAL UNTUK MENENTUKAN
FAKTOR KOREKSI TERHADAP KEBERADAAN CLEAT PADA
BATUBARA**

No.	Lubang Ledak	Garis Ukur	Pengukuran	Searah Cleat (x)	$(X - \bar{x})^2$	Tegak Lurus Cleat (y)	$(Y - \bar{y})^2$
1	I	1	1	0,54	0,0003051	0,37	1,708E-05
2			2	0,54	0,0003051	0,36	3,442E-05
3			3	0,55	0,0007544	0,35	0,0002518
4			4	0,54	0,0003051	0,34	0,0006691
5			5	0,54	0,0003051	0,34	0,0006691
6		2	1	0,56	0,0014038	0,39	0,0005824
7			2	0,55	0,0007544	0,37	1,708E-05
8			3	0,56	0,0014038	0,39	0,0005824
9			4	0,55	0,0007544	0,37	1,708E-05
10			5	0,58	0,0033024	0,4	0,0011651
11		3	1	0,69	0,0280451	0,49	0,0154091
12			2	0,7	0,0314944	0,46	0,0088611
13			3	0,69	0,0280451	0,47	0,0108438
14			4	0,69	0,0280451	0,47	0,0108438
15			5	0,68	0,0247958	0,47	0,0108438
16		4	1	0,65	0,0162478	0,42	0,0029304
17			2	0,63	0,0115491	0,42	0,0029304
18			3	0,63	0,0115491	0,42	0,0029304
19			4	0,63	0,0115491	0,42	0,0029304
20			5	0,64	0,0137984	0,42	0,0029304
21		5	1	0,48	0,0018091	0,42	0,0029304
22			2	0,47	0,0027598	0,41	0,0019478
23			3	0,47	0,0027598	0,41	0,0019478
24			4	0,49	0,0010584	0,43	0,0041131
25			5	0,5	0,0005078	0,42	0,0029304
26	II	1	1	0,38	0,0203158	0,21	0,0242944
27			2	0,39	0,0175651	0,21	0,0242944
28			3	0,38	0,0203158	0,22	0,0212771
29			4	0,37	0,0232664	0,21	0,0242944
30			5	0,39	0,0175651	0,22	0,0212771
31		2	1	0,37	0,0232664	0,26	0,0112078
32			2	0,36	0,0264171	0,27	0,0091904
33			3	0,36	0,0264171	0,26	0,0112078
34			4	0,37	0,0232664	0,29	0,0057558
35			5	0,36	0,0264171	0,27	0,0091904
36		3	1	0,44	0,0068118	0,32	0,0021038
37			2	0,41	0,0126638	0,31	0,0031211

Lanjutan...

38			3	0,42	0,2730411	0,33	0,0012864
39			4	0,43	0,0085624	0,31	0,0031211
40			5	0,42	0,0105131	0,33	0,0012864
41		4	1	0,4	0,0150144	0,3	0,0043384
42			2	0,42	0,0105131	0,3	0,0043384
43			3	0,42	0,0105131	0,31	0,0031211
44			4	0,41	0,0126638	0,3	0,0043384
45			5	0,43	0,0085624	0,29	0,0057558
46		5	1	0,34	0,0333184	0,25	0,0134251
47			2	0,35	0,0297678	0,25	0,0134251
48			3	0,34	0,0333184	0,25	0,0134251
49			4	0,36	0,0264171	0,25	0,0134251
50			5	0,36	0,0264171	0,25	0,0134251
51	III	1	1	0,56	0,0014038	0,39	0,0005824
52			2	0,56	0,0014038	0,39	0,0005824
53			3	0,57	0,0022531	0,37	1,708E-05
54			4	0,55	0,0007544	0,38	0,0001998
55			5	0,55	0,0007544	0,39	0,0005824
56		2	1	0,67	0,0217464	0,41	0,0019478
57			2	0,68	0,0247958	0,42	0,0029304
58			3	0,69	0,0280451	0,39	0,0005824
59			4	0,7	0,0314944	0,42	0,0029304
60			5	0,7	0,0314944	0,38	0,0001998
61		3	1	0,69	0,0280451	0,45	0,0070784
62			2	0,68	0,0247958	0,43	0,0041131
63			3	0,71	0,0351438	0,43	0,0041131
64			4	0,72	0,0389931	0,44	0,0054958
65			5	0,69	0,0280451	0,44	0,0054958
66		4	1	0,56	0,0014038	0,47	0,0108438
67			2	0,57	0,0022531	0,45	0,0070784
68			3	0,58	0,0033024	0,45	0,0070784
69			4	0,58	0,0033024	0,46	0,0088611
70			5	0,57	0,0022531	0,46	0,0088611
71		5	1	0,47	0,0027598	0,41	0,0019478
72			2	0,48	0,0018091	0,39	0,0005824
73			3	0,48	0,0018091	0,4	0,0011651
74			4	0,49	0,0010584	0,41	0,0019478
75			5	0,46	0,0039104	0,41	0,0019478
Jumlah				39,19	1,289547	27,44	0,4384187
Rata-rata				0,52253333	0,015243	0,365866667	0,0088879

8. Perhitungan hasil.

Faktor koreksi *cleat* diperoleh dari perbandingan hasil radius rekahan searah *cleat* terukur dengan hasil radius rekahan tegak lurus arah *cleat* terukur.

Simpangan radius searah *cleat*, adalah :

$$\partial R_s = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{C.1.})$$

dengan ∂R_s adalah simpangan radius searah *cleat*, x adalah radius searah *cleat* terukur pada satu garis ukur, \bar{x} adalah radius searah *cleat* rata-rata dan n adalah jumlah data.

Radius searah *cleat* : (0,522 ± 0,015243) m

Ralat nisbi : 2,917 %

Keseksamaan : 97,082 %

Simpangan radius tegak lurus *cleat*, adalah :

$$\partial R_t = \sqrt{\frac{(y - \bar{y})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{C.2.})$$

dengan ∂R_t adalah simpangan radius searah *cleat*, y adalah radius searah *cleat* terukur pada satu garis ukur, \bar{y} adalah radius searah *cleat* rata-rata dan n adalah jumlah data.

Radius tegak lurus *cleat* : (0,366 ± 0,008888) m

Ralat nisbi : 2,429 %

Keseksamaan : 97,570 %

Ralat berbobot untuk faktor koreksi *cleat* diperoleh melalui persamaan berikut :

$$Cl_t = \frac{R_s}{R_t} \quad (C.3.)$$

$$\frac{\partial Cl_t}{\partial R_s} = \frac{1}{R_s} \quad (C.4.)$$

$$\frac{\partial Cl_t}{\partial R_t} = -\frac{R_s}{R_t^2} \quad (C.5.)$$

$$\delta \cdot Cl_t = \left[\left(\frac{\partial Cl_t}{\partial R_s} \cdot \partial R_s \right)^2 + \left(\frac{\partial Cl_t}{\partial R_t} \cdot \partial R_t \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (C.6.)$$

dengan Cl_t adalah faktor koreksi *cleat*, R_s adalah radius searah *cleat*, R_t adalah radius tegak lurus *cleat* dan δCl_t adalah ralat berbobot untuk faktor koreksi *cleat*.

Ralat berbobot : 0,054217

Maka diperoleh hasil perbandingan antara radius searah *cleat* dengan radius tegak lurus *cleat* sebaga faktor koreksi *cleat* sebesar :

Faktor koreksi *cleat* : (0,700179 ± 0,054217)

Ralat nisbi : 7,743 %

Keseksamaan : 92,256 %

C.2 Percobaan II

1. Tanggal / waktu : 26 Maret 2002 / 14.30 WIB.
2. Cuaca : Cerah.
3. Lokasi / batubara : Jalur 4, Deep Step / B1, Tambang Air Laya, Tj.

Enim.

4. Tujuan :

Mengetahui keberlangsungan rekahan di antara lubang ledak *pre-splitting* dalam skala kecil pada bentangan yang searah dengan *cleat*.

5. Spesifikasi :

- a. Spesifikasi Batuan :

Densitas : $2,057 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Kecepatan seismik : $1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.

Faktor attenuasi : 0,09 (Nilai median dari interval α batuan sedimen, yaitu : 0,16 – 0,02)

Kuat tarik : 0,827 Mpa (Harga statistik)

- b. Spesifikasi bahan peledak :

Merek : Power Gel Magnum 3151

Densitas : $1,23 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

VOD : $4,8 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.

RBS : 183 % (ANFO / *Specific Pressure* (Ps) : 813

Mpa).

Radius : 0,016 m.

Panjang : 0,2 m.

Jumlah : 1 buah.

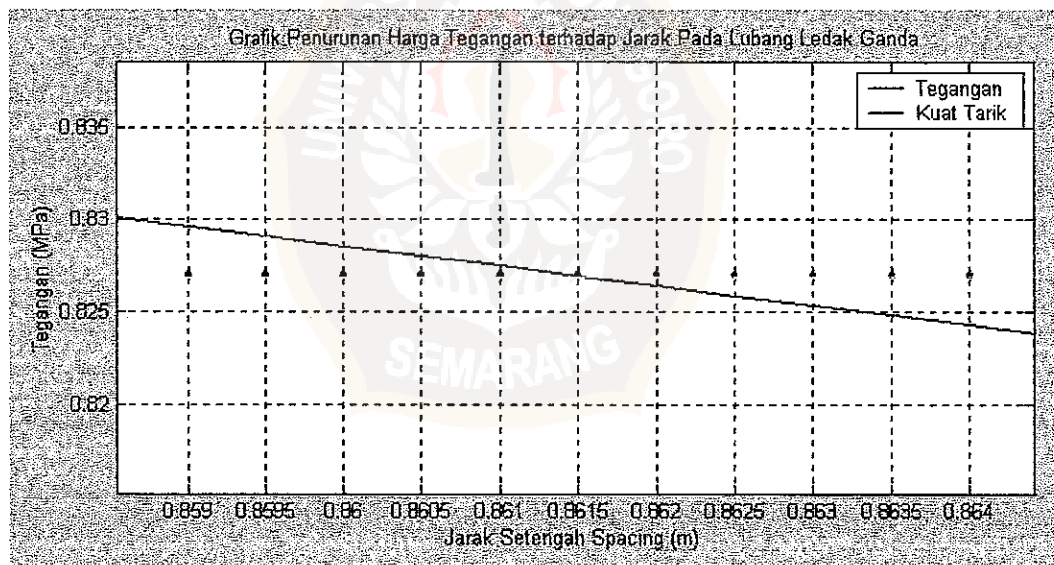
c. Spesifikasi lubang bor :

Radius : 0,075 m.

Kedalaman : 1 m (tanpa stemming).

6. Perhitungan perkiraan radius rekahan terjauh hasil peledakan.

Perhitungan perkiraan spacing optimal pada peledakan menggunakan program **Rijoblast** berbasis program MATLAB versi 6.1. Hasil perhitungan jarak setengah spacing diperoleh berupa grafik perpotongan kurva penurunan harga tegangan terhadap jarak dengan garis harga kuat tarik batuan pada gambar C.3.



Gambar C.3. Grafik tampilan program **Rijoblast** pada lubang ledak ganda

Hasil perhitungan program diperoleh perkiraan jarak setengah spacing 0,8615 m maka spacing optimal antara lubang ledak adalah dua kali harga setengah spacing yaitu sebesar 1,723 m.

7. Pada percobaan diterapkan spacing 2 m untuk memudahkan penerapannya dan diperoleh hasil mengenai keadaan batuan setelah diledakan yaitu terbentuknya rekahan-rekahan yang terdistribusi secara acak dan tidak kontinu di antara lubang ledak

C.3 Percobaan III

1. Tanggal / waktu : 26 Maret 2002 / 14.30 WIB.
2. Cuaca : Cerah.
3. Lokasi / batubara : Jalur 4, Deep Step / B1, Tambang Air Laya, Tj. Enim.

4. Tujuan :

Mengetahui keberlangsungan rekahan di antara lubang ledak *pre-splitting* dalam skala kecil pada bentangan yang tegak lurus dengan arah *cleat*.

5. Spesifikasi :

- a. Spesifikasi Batuan :

Densitas : $2,057 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Kecepatan seismik : $1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.

Faktor attenuasi : 0,09 (Nilai median dari interval α batuan sedimen, yaitu : 0,16 – 0,02)

Kuat tarik : 0,827 Mpa (Harga statistik)

- b. Spesifikasi bahan peledak :

Merek : Power Gel Magnum 3151

Densitas : $1,23 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

VOD : $4,8 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.

RBS : 183 % (ANFO / *Specific Pressure* (Ps) : 813
Mpa).
Radius : 0,016 m.
Panjang : 0,2 m.
Jumlah : 1 buah.

c. Spesifikasi lubang bor :

Radius : 0,075 m.
Kedalaman : 1 m (tanpa stemming).

6. Perhitungan perkiraan radius rekahan terjauh hasil peledakan.

Perhitungan perkiraan spacing optimal pada peledakan menggunakan program **Rijoblast** berbasis program MATLAB versi 6.1. Hasil perhitungan jarak setengah spacing diperoleh berupa grafik perpotongan kurva penurunan harga tegangan terhadap jarak dengan garis harga kuat tarik batuan pada gambar C.4.



Gambar C.4. Grafik tampilan program **Rijoblast** pada lubang ledak ganda

Hasil perhitungan program diperoleh perkiraan jarak setengah spacing 0,8615 m maka spacing optimal antara lubang ledak adalah dua kali harga setengah spacing yaitu sebesar 1,723 m.

7. Pada percobaan diterapkan spacing 2 m untuk memudahkan penerapannya dan diperoleh hasil mengenai keadaan batuan setelah diledakan yaitu tidak terbentuknya rekahan-rekahan di antara lubang ledak seperti halnya pada percobaan 1 namun terlihat permukaan batuan yang lebih terangkat (lebih cembung) di antara lubang ledak dibandingkan dengan keadaan sebelum diledakan.

C.4 Percobaan IV

1. Tanggal / waktu : 4 April 2002 / 13.00 WIB.
2. Cuaca : Cerah.
3. Lokasi / batubara : Jalur 3, Deep Step / B1, Tambang Air Laya, Tj. Enim.

4. Tujuan :

Mengetahui kebenaran pelaksanaan perhitungan spacing optimal pada penerapan yang sesuai dengan fungsi *pre-splitting line* sesungguhnya dalam skala besar.

5. Spesifikasi :

- a. Spesifikasi Batuan :

Densitas : $2,057 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Kecepatan seismik : $1,5 \cdot 10^3$ m/s.

Faktor attenuasi : 0,09 (Nilai median dari interval α batuan sedimen, yaitu : 0,16 – 0,02)

Kuat tarik : 0,827 Mpa (Harga statistik)

b. Spesifikasi bahan peledak :

Merek : Power Gel Magnum 3151

Densitas : $1,23 \cdot 10^3$ kg/m³.

VOD : $4,8 \cdot 10^3$ m/s.

RBS : 183 % (ANFO / *Specific Pressure* (Ps) : 813

Mpa).

Radius : 0,016 m.

Panjang : 0,2 m.

Jumlah : 8 buah.

c. Spesifikasi lubang bor :

Radius : 0,075 m.

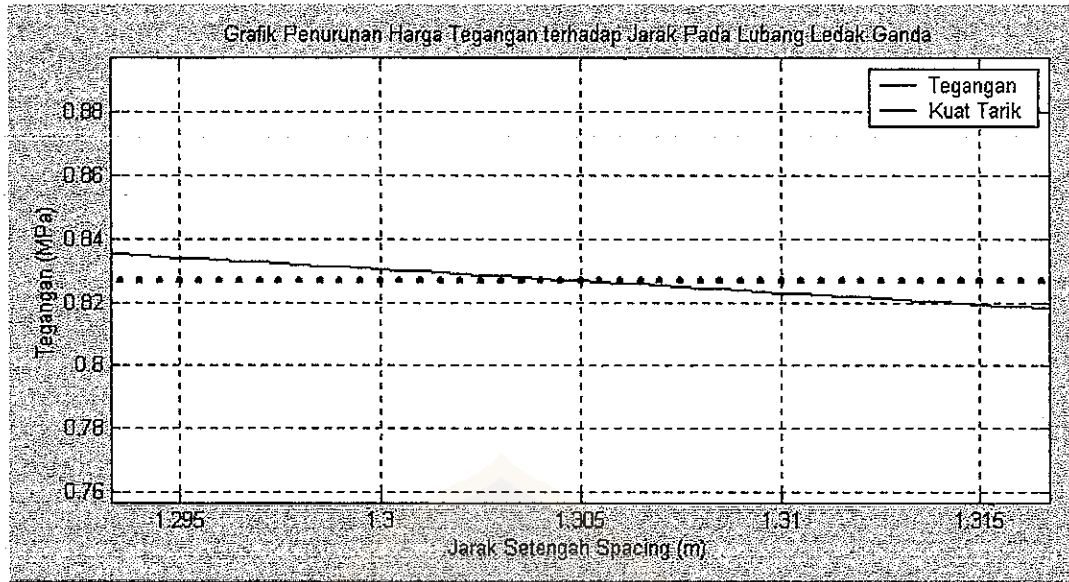
Kedalaman : 6 m

Stemming : 1 m

6. Perhitungan perkiraan radius rekahan terjauh hasil peledakan.

Perhitungan perkiraan spacing optimal pada peledakan menggunakan program **Rijoblast** berbasis program MATLAB versi 6.1. Hasil perhitungan jarak setengah spacing diperoleh berupa grafik perpotongan kurva penurunan

harga tegangan terhadap jarak dengan garis harga kuat tarik batuan pada gambar C.5.



Gambar C.5. Grafik tampilan program **Rijoblast** pada lubang ledak ganda

Hasil perhitungan program diperoleh perkiraan jarak setengah spacing 1,305 m maka spacing optimal antara lubang ledak adalah dua kali harga setengah spacing yaitu sebesar 2,61 m.

7. Pada percobaan diterapkan spacing 2,5 m untuk memudahkan penerapannya dan diperoleh hasil mengenai keadaan batuan setelah diledakan yaitu terbentuknya rekahan-rekahan yang kontinu di antara lubang ledak

LAMPIRAN D



Tabel D.1.

DENSITAS BATUAN DAN MINERAL

Jenis Batuan atau Mineral	Densitas ($\times 10^3$ kg/m ³)
Pasir	1,6 – 2
Moraine	1,5 – 2
Batupasir (Mesozoic)	2,15 – 2,4
Batupasir (Paleozoic)	2,35 – 2,65
Quartzite	2,60 – 2,70
Batukapur (kompak)	2,5 – 2,75
Shales (muda)	2,1 – 2,6 (2,4) ^a
Shales(tua)	2,65 – 2,75 (2,7)
Gneiss	2,6 – 2,9 (2,7)
Basalt	2,7 – 3,3 (2,98)
Diabase	2,8 – 3,1 (2,96)
Serpentine	2,5 – 2,7 (2,6)
Gypsum	2,3
Anhydrite	2,9
Rocksalt	2,1 – 2,4
Zinblende	4,0
Chromite	4,5 – 4,8
Coal	2,057
Pyrite	4,9 – 5,2
Hematite	5,1
Magnetite	4,9 – 5,2 (5,1)
Galena	7,4 – 7,6
Granit	2,52 – 2,81 (2,67)
Granidiorite	2,67 – 2,79 (2,72)
Syenite	2,63 – 2,90 (2,76)
Quartzdiorite	2,68 – 2,96 (2,81)
Gabbro	2,85 – 3,12 (2,98)
Peridotite	3,15 – 3,28 (3,23)
Dunite	3,20 – 3,31 (3,28)
Eclogite	3,34 – 3,45 (3,39)

(Sharma, 1997)

Tabel D.2.

KECEPATAN SEISMİK PADA BATUAN

Jenis Batuan	Kecepatan Seismik (m/s)
Udara	330
Air	1400 – 1500
Es	3000 – 4000
Permafrost	3500 - 4000
Weathered layer	250 – 1000
Alluvium, sand (dry)	300 – 1000
Sand (water-saturated)	1200 – 1900
Clay	1100 – 2500
Glacial moraine	1500 – 2600
Coal	1400 – 1600
Batupasir	2000 – 4500
Slates dan shales	2400 – 5000
Limestones dan dolomites	3400 – 6000
Anhydrite	4500 – 5800
Rocksalt	4000 – 5500
Granites dan gneisses	5000 – 6200
Basalt flow top (highly fractured)	2500 – 3800
Basalt	5500 – 6300
Gabbro	6400 – 6800
Dumite	7500 – 8400

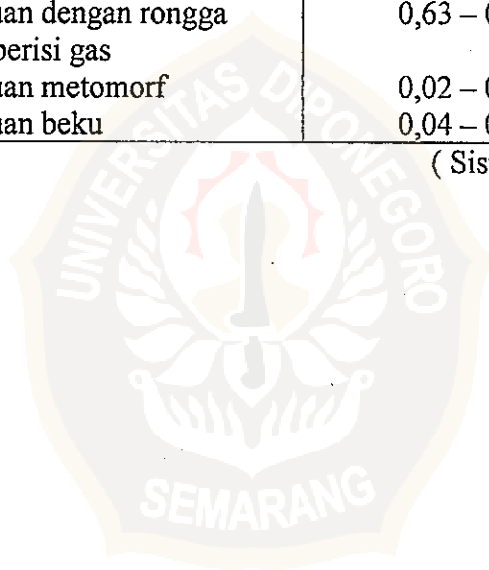
(Sharma, 1997)

Tabel D.3.

HARGA FAKTOR ATTENUASI PADA BATUAN

Jenis Batuan	α
Batuan sedimen	0,16 – 0,02
Batu pasir	0,05 – 0 02
Batu lempung	0,16 – 0,05
Batu gamping	0,06 – 0,02
Batu kapur	0,02
Dolomit	0,02
Batuan dengan rongga berisi gas	0,63 – 0,06
Batuan metomorf	0,02 – 0,01
Batuan beku	0,04 – 0,01

(Sismanto, 1996)



Tabel D.4.

**DATA EVALUASI STATISTIK KUAT TARIK (UTS)
TAMBANG AIR LAYA, TANJUNG ENIM – SUMATERA SELATAN**

No.	Keterangan	Nilai	Satuan
1.	Jumlah data	31	Buah
2.	Nilai maksimum	1,249	MPa
3.	Nilai minimum	0,413	MPa
4.	Nilai maks – min	1,835	MPa
5.	Jumlah kelas	5,971	Buah
6.	Interval	0,140	MPa
7.	Standard deviasi	0,248	MPa
8.	Nilai rata – rata	0,827	MPa
9.	Kepercayaan	65,692	%

Kelas	Interval	Distribusi Frekuensi	
		Populasi	(%)
1.	0,412 – 0,552	7	22,58
2.	0,553 – 0,693	3	9,68
3.	0,694 – 0,834	7	22,58
4.	0,835 – 0,974	5	16,13
5.	0,975 – 1,115	5	16,13
6.	1,116 – 1,255	4	12,90
	Kontrol	31	100,00

(Lab. Geoteknik PTBA, 2002)

Tabel D.5.

KARAKTER FISIS DARI BAHAN PELEDAK

Bahan Peledak	Densitas (kg/m ³)	Kecepatan Detonasi (m/s)	Tekanan Spesifik (MPa)	Sensitifitas Gap (m)
Gomma A	1550	7500	1246	>0,10
Gelatina 1	1450	6550	1007	>0,10
Gelatina 2	1420	6100	954	>0,10
Seismic 2	1550	6600	878	0,16
Indropent D	1550	7900	1327	0,25
Profil X	1200	3240	343	>0,10
Tutagex 210	1150	4200	828	>0,02
Tutagex 110	1150	4000	688	>0,02
Vulcan 3	1050	4500	899	0,10
Cava Extra 2	1050	4550	966	0,10
Cava 1	1000	3800	930	0,05
ANFO	800	2300	813	0,02

(Italesplosivi, 1990)

Keterangan :

Hubungan harga *Relatives Bulk Strength* (RBS) suatu bahan peledak dengan tekanan spesifiknya diperoleh dari persamaan di bawah ini :

$$RBS = \frac{\text{Tekanan spesifik bahan peledak}}{\text{Tekanan spesifik ANFO}} \times 100\%$$

LAMPIRAN E



TINJAUAN UMUM DAERAH PENELITIAN

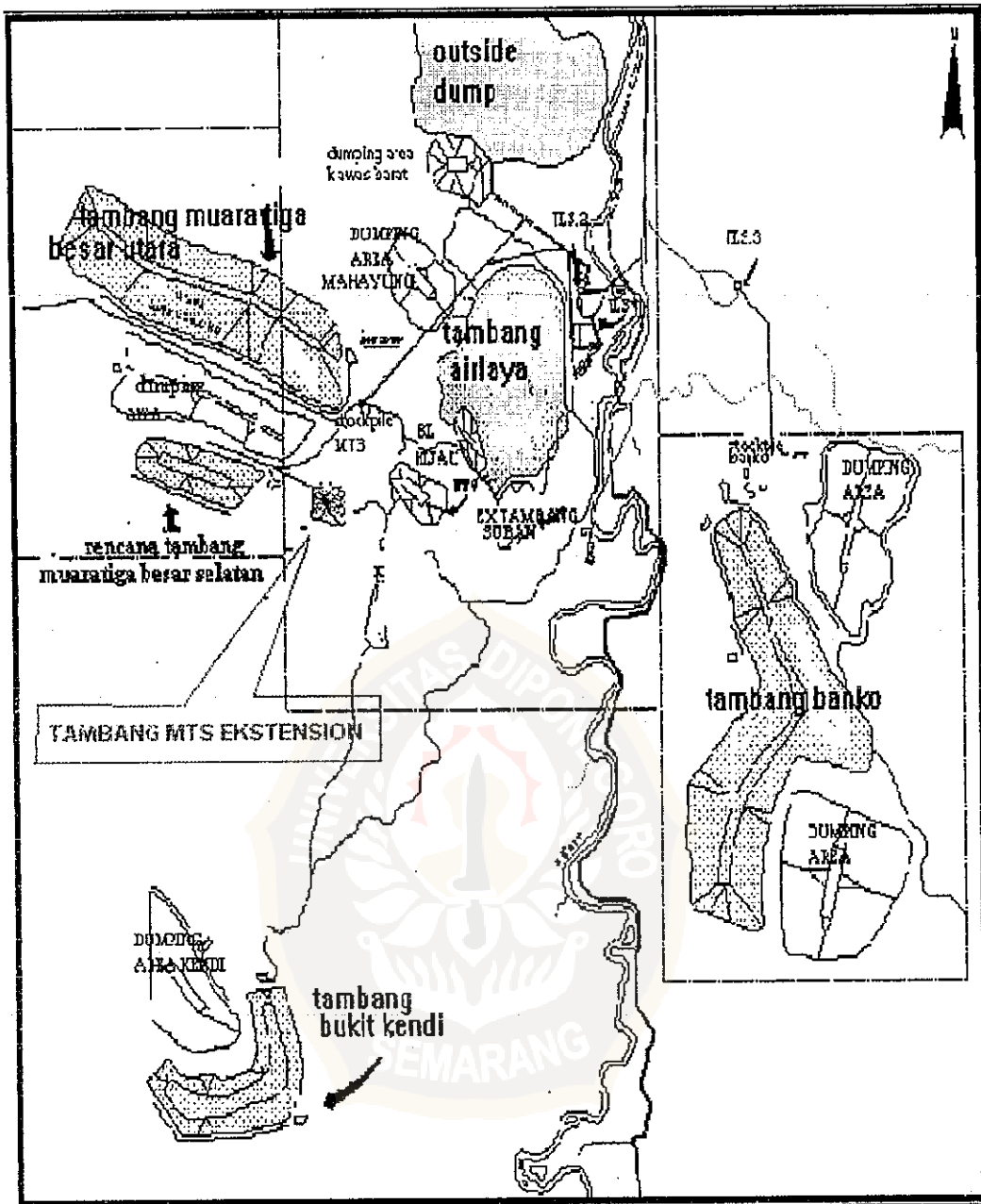
E.1 Lokasi dan Topografi

E.1.1 Lokasi

PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) Unit Pertambangan Tanjung Enim (PTBA-UP) terletak di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan. Lokasi ini dihubungkan dengan jalan dalam darat ke arah barat daya kira-kira sejauh 200 km dan jalan kereta api 165 km dari kota Palembang.

Lokasi kuasa pertambangan (KP) yang dimiliki oleh PTBA-UPT meliputi wilayah Tanjung Enim dan sekitarnya seluas ± 7.700 Ha untuk masa 30 tahun (1973-2003), memiliki 5 lokasi penambangan yang masih aktif.

Luas daerah penggalian Tambang Air Laya (TAL) yang telah berproduksi sejak tahun 1986 adalah 560 Ha, sedangkan untuk TAL Ekstension sebagai pengembangan TAL direncanakan berproduksi pada tahun 2003 dengan luas ± 156 Ha. Secara geografis lokasi tersebut terletak pada posisi $3^{\circ}42'30''$ L.S – $3^{\circ}47'30''$ L.S dan $103^{\circ}50'10''$ B.T, atau pada koordinat utara magnetik X : 363.750 – 365.500 dan Y : 587.600 – 588.700.



Gambar E.1. Lokasi PTBA unit pertambangan Tanjung Enim (Divisi LOT. PTBA).

E.1.2 Topografi

Topografi TAL berupa daratan rendah dengan beberapa bukit disekitarnya, yaitu Bukit Murman, Bukit Munggu, Bukit tapuan dan tentunya Bukit Asam, yang merupakan elevasi tertinggi (232 m), sedang elevasi terendah (-75 m) adalah dasar galian TAL yang terbentuk pada akhir tahun 1999.

Sungai terdekat yang mengalir di daerah ini adalah Sungai Enim atau Air Enim di sebelah Timur dan Sungai Lawai yang berada di sebelah Barat. Sungai Enim mengalir ke Utara dengan elevasi dasar sungai di sekitar TAL adalah 40m, sedang Sungai Lawai yang elevasinya $\pm 65\text{m}$ mengalir ke arah Timur dan bermuara di Sungai Enim.

E.2 Geologi dan Stratigrafi

E.2.1 Geologi

Penyelidikan geologi yang dilakukan oleh Mennhardt (1918) menyimpulkan bahwa lapisan batubara yang berada di dalam daerah KP PTBA Tanjung Enim terbentuk dalam proses pengendapan fasies *paludal* (rawa) hingga fasies *channel* atau bar dan menempati tepi barat bagian selatan Cekungan Sumatera Selatan Sub Cekungan Palembang. Lapisan batubara tersebut tersingkap dalam 12 (dua belas) lapisan yang terdiri dari urutan tua sampai muda yaitu 5 (lima) lapisan utama, yaitu : Lapisan Keladi, Lapisan Merapi, Lapisan Petai, Lapisan Suban dan Lapisan Manggus, yang masing-masing dikenal sebagai Lapisan D, Lapisan C, Lapisan B, dan Lapisan A, serta 7 (tujuh) Lapisan Gantung (*Hanging Seam*).

Adapun penyebaran batuan yang berada di daerah Tanjung Enim, khususnya pada rencana TAL Ekstension terdiri dari 4 (empat) satuan batuan, yaitu :

1. Formasi Muara Enim

Formasi ini adalah formasi yang mengindikasikan adanya batubara (*Coal Measure*) atau sebagai formasi pembawa batubara (*Coal Bearing Formation*), dicirikan oleh batulempung, batulanau dan batupasir yang dominan. Formasi Muara Enim di daerah ini tertindih oleh endapan sungai tua secara selaras, endapan yang berumur kuartar ini belum sempat mengalami pemadatan sempurna.

2. Formasi Kasai

Formasi ini hanya tersingkap tipis dan secara khas dicirikan oleh tufa berwarna putih seperti yang tersingkap di daerah Air Laya Putih, Klawas dan Suban yang disertai sedikit lempung dan pasir halus.

3. Formasi Intrusi Batuan Beku berupa Andesit

Formasi ini membentuk bukit-bukit di sekitar daerah tambang, seperti Bukit Asam, Bukit Tapuan dan Bukit Murman, serta penyambungan Bukit Munggu di bagian bawah (intrusi bawah permukaan) daerah Suban sampai Air Laya berbentuk kubah (*dome*) yang dicirikan oleh dominasi batupasir dan lanau.

4. Satuan Endapan Kuartar atau Endapan Sungai Tua

Terdapat di daerah lembah dan diendapkan secara tidak selaras di atas formasi batuan sebelumnya. Formasi ini dicirikan oleh batulempung, pasir lepas dan *gravel* yang tersingkap di daerah Air Laya bagian Utara.

E.2.2 Stratigrafi

Stratigrafi lapisan batubara di daerah rencana TAL Utara Ekstension pada umumnya sama dengan TAL, yaitu dari Formasi Muara Enim. Formasi ini menurut hasil eksplorasi *Shell Minjouw N. V* dan *Reinbrown Consulting GMBH* terdiri dari 3 (tiga) kelompok besar, yaitu : lapisan penutup (*Overburden*), kemudian kelompok lapisan utara batubara terdiri dari 5 (lima) lapisan yaitu A1, A2, B1, B2 dan C serta kelompok ketiga adalah lapisan antara (*Interburden*) lapisan batubara, yaitu terdiri dari *interburden* A1-A2, A2-B1, B1-B2 dan *interburden* B2-C.

Lithologi dan ketebalan dari masing-masing kelompok dan lapisan pada formasi Muara Enim tersebut adalah sebagai berikut :

1. Lapisan Tanah Penutup

Jenis tanah penutup yang paling dominan adalah batulempung, disertai batupasir, batulanau tufaan dan bentonit. Pada lapisan setebal 85-150 m ini dijumpai beberapa lapisan batubara gantung dengan ketebalan tiap lapisan sekitar 0,5 m. Selain itu secara *sporadish* juga ditemukan *clay ironstone* berupa lensa-lensa dan terkadang berbentuk cakram dengan ketebalan 520 cm.

2. Lapisan Batubara

a. Lapisan batubara A1 (Manggu Atas)

Umumnya dicirikan dengan adanya lapisan pengontrol yang berupa pita tanah liat (*clay band*) setebal 20-30 cm berwarna putih ke abu-abuan. Ketebalan lapisan batubara A1 berkisar antara 6,5 –10 m, berwarna hitam kusam.

b. Lapisan batubara A2 (Mangrus Bawah)

Lapisan ini mempunyai ciri khusus yaitu adanya lapisan silika (*Silicified*) sangat keras dibagian atas / permukaan dengan ketebalan sekitar 20-50 cm, sedang di bagian tengah dijumpai lapisan pengotor berupa tanah liat halus yang mengisi ruang-ruang kosong yang ada atau bidang *discontinou*. Ketebalan lapisan batubara A2 berkisar antara 8-13 m.

c. Lapisan batubara B1 (Suban Atas)

Lapisan batubara yang tebalnya antara 8-12 m tidak memiliki ciri khusus dan hanya dikenali dari jaraknya terhadap lapisan batubara A2 (*Interburden* A2-B1) yang ada di atasnya serta lapisan batubara B2 (*Interburden* B1-B2) dibawahnya.

d. Lapisan batubara B2 (Suban Bawah)

Lapisan batubara ini tebalnya sekitar 4-5 m dan mengandung satu lapisan tipis batulempung halus berwarna abu-abu gelap kehitaman.

e. Lapisan batubara C (Petai)

Lapisan batubara ini merupakan lapisan tunggal yang umumnya tidak memiliki lapisan pengotor atau ciri khusus. Ketebalan lapisan ini berkisar antara 7-10 m.

Dengan demikian jumlah ketebalan seluruh lapisan batubara pada formasi Muara Enim adalah sekitar 33-50 m dan kemiringan (*dip*) lapisan antara 15-20°.

3. Lapisan Antara Lapisan Batubara

a. Lapisan antara A1 dan A2 (*Interburden* A1-A2)

Lapisan ini dicirikan oleh adanya batupasir tufaan berwarna putih dan abu-abu terang. Secara keseluruhan memperlihatkan adanya struktur *graded bedding* dengan batupasir konglomerasi pada bagian dasar dan batuan pasir halus di bagian atas. Ketebalan lapisan ini berkisar antara 2-5 m.

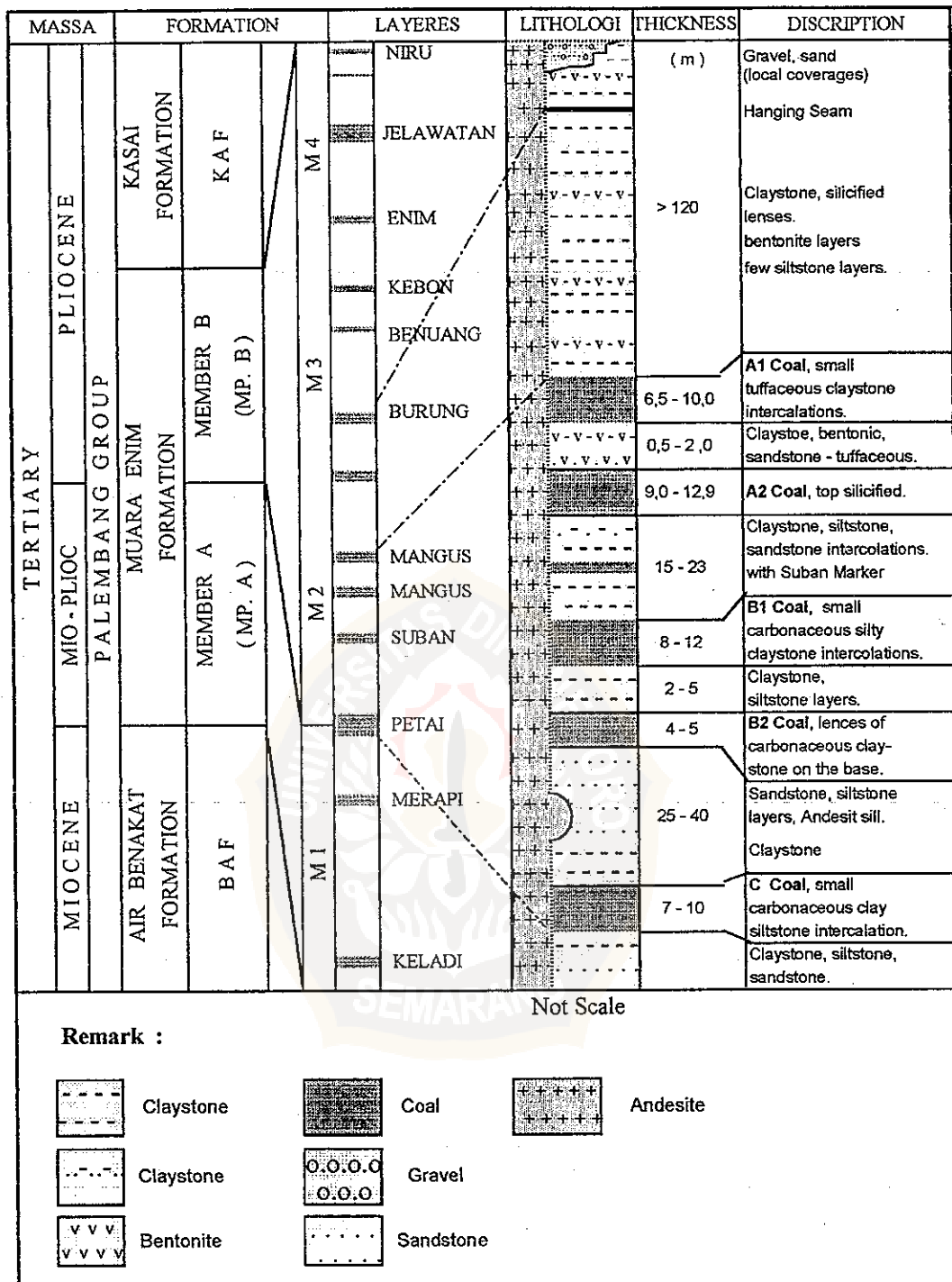
b. Lapisan antara A2 dan B1 (*Interburden A2-B1*)

Jenis material pada lapisan *Interburden A2-B1* ini terdiri dari batulempung, batulanau dan sisipan tipis batupasir berwarna abu terang, di beberapa tempat kadang dijumpai lensa-lensa *clay ironstone* sangat keras setebal 5-20 cm, berwarna coklat kemerahan. Lapisan yang dikenal dengan nama *Suban Marker* ini mempunyai ketebalan antara 15-23 m.

c. Lapisan antara B2 dan C (*Interburden B2-C*)

Lapisan ini didominasi oleh batupasir berbutir halus-selang, abu-abu terang dengan sisipan lapisan-lapisan tipis batu lempung lanauan. Pada lapisan ini juga selalu dijumpai lensa-lensa batu lanau silikaan (*Silicified*) sangat keras berukuran 20-60 cm yang terbesar tidak merata (*Sporadish*). Lapisan ini mempunyai ketebalan antara 25-40 m.

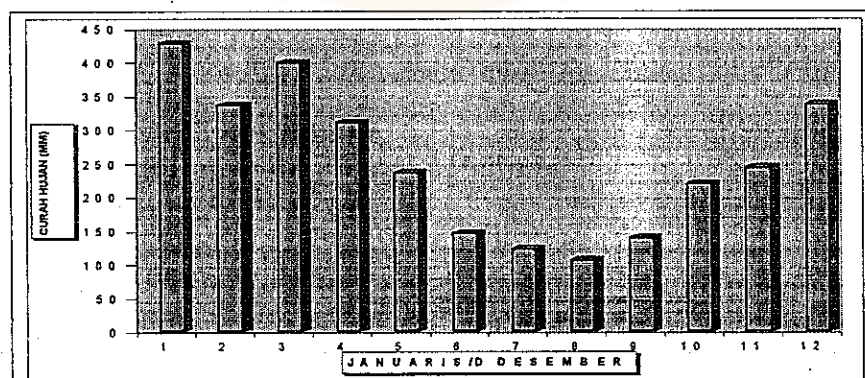
Total ketebalan lapisan antara (*Interburden*) ini menjadi sekitar 44-73 m.



Gambar E.2. Stratigrafi dan litologi tambang Air Laya Tanjung Enim
(Bag. Geologi PTBA)

E.3 Iklim dan Vegetasi

Lokasi TAL khususnya atau daerah Tanjung Enim pada umumnya adalah beriklim tropis dengan suhu rata-rata antara 19-33⁰C dan kelembaban rata-rata berkisar antara 57-85 %. Data curah hujan bulanan rata-rata (tahun 2001) dari berbagai stasiun pengamatan PTBA menunjukkan bahwa curah hujan tertinggi jatuh pada bulan Januari dan terendah pada bulan Agustus, sedangkan besarnya curah hujan bulanan rata-rata adalah 250 mm/bulan. Dari kedua informasi curah hujan tersebut dapat diketahui bahwa musim kemarau berlangsung pada bulan Mei sampai Nopember (curah hujan dibawah rata-rata) dan musim hujan jatuh pada bulan Desember sampai April (curah hujan diatas rata-rata). Musim kemarau di daerah Tanjung Enim ternyata lebih panjang waktunya (7 bulan) dibanding musim hujan (gambar E.3), hal ini sangat mendukung iklim usaha dibidang pertambangan, khususnya tambang terbuka seperti batubara. Vegetasi yang terdapat di sekitar Tanjung Enim umumnya berupa hutan tropis sekuler, belukar (alang-alang), perkebunan karet rakyat, kelapa sawit dan kebun kopi.



Gambar E.3. Grafik curah hujan daerah Tanjung Enim

(Bag. Hidrologi PTBA).

E.4 Hidrologi dan Hidrogeologi

Untuk mengendalikan air permukaan (drainase tambang), baik yang berasal dari luar maupun dari dalam tambang dilakukan dengan membuat sumur-sumur penampung air (*Sump*). Sumur induk (*Main Sump*) digunakan untuk menampung air dalam tambang, beberapa sumur induk dialirkan dengan pompa secara berjenjang melalui beberapa sumur pembantu menuju tempat pengendapan (*Settling pond*).

Masalah hidrogeologi atau sumber air bawah tanah dan air tanah pada lokasi pertambangan diantisipasi dengan pemboran air atau pemboran eksplorasi yang dimanfaatkan juga untuk bor air, kemudian dilakukan pemompaan melalui saringan (*screen pipe*) menuju sumur yang terdekat sebelum menuju sumur pengendapan.

E.5 Kegiatan penambangan di TAL

Tambang TAL mempunyai luas $\pm 12,1 \text{ km}^2$ yang meliputi daerah penggalian dan daerah penimbunan. Luas daerah penggalian $5,6 \text{ km}^2$ dengan total kedalaman penggalian direncanakan 175 m, yang dibagi dalam 7 jenjang penambangan. Luas daerah penimbunan $6,5 \text{ km}^2$ yang terletak diluar tambang (*Outside dump*), direncanakan dapat menampung hingga tahun 2009, setelah itu penimbunan tanah akan dilakukan di bekas daerah penggalian (*Inside Dump*).

E.5.1 Peralatan utama

Peralatan utama yang dipergunakan untuk kegiatan penambangan di TAL, adalah :

1. *Bucket Wheel Excavator (BWE) O & K RH 630*

Sebagai alat gali-muat utama, sebanyak lima unit. Untuk membantu pemuatan material ke sabuk *Conveyor*, masing-masing BWE dibantu oleh *Belt Wagon (BW)* dan *Hopper Car (HC)* yang digerakan oleh *Cable Rail Car (CRC)*.

2. *Belt Conveyor*

Sebagai alat angkut, baik untuk mengangkat tanah penutup ke tempat penimbunan tanah maupun batubara ke *Stock pile*. Jalur sabuk *conveyor* ini berturut-turut mulai dari *front* penggalian sampai ke tempat penimbunan, adalah :

- a. *Conveyor Excavating (CE)*, yaitu *conveyor* pertama yang mengangkat hasil penggalian dengan posisi selalu mengikuti kemajuan penggalian.
- b. *Conveyor Shunting (CS)*, merupakan *conveyor* penghubung dari CE ke CDP.
- c. *Conveyor Distribution Point (CDP)*, yaitu tempat pemisah antara tanah dan batubara ke jalur masing-masing.
- d. *Conveyor Dumping (CD)*, merupakan jalur pengangkutan tanah menuju tempat penimbunan. Terdapat dua jalur CD yang masing-masing melayani maksimum hanya dua jalur CE secara bersamaan.
- e. *Coal Conveyor (CC)*, merupakan jalur pengangkut batubara menuju *Stock pile*.

3. *Spreader* PWH HTB 2600, Sebagai alat penghampar tanah buangan, sebanyak dua unit, masing-masing dilayani satu jalur CD. Tiap unit dibantu sebuah *Tripper Car*.
4. *Stacker / Reclaimer* KRUPP5600, sebagai alat penumpang batubara (*Stacking*) ke *Stock pile* dan juga sebagai alat gali-muat batubara (*Reclaiming*) dari *Stock pile* ke tempat pemuatan gerbong kereta api batubara (*Train Loading Station*).

E.5.2 Cara kerja sistem penambangan menerus

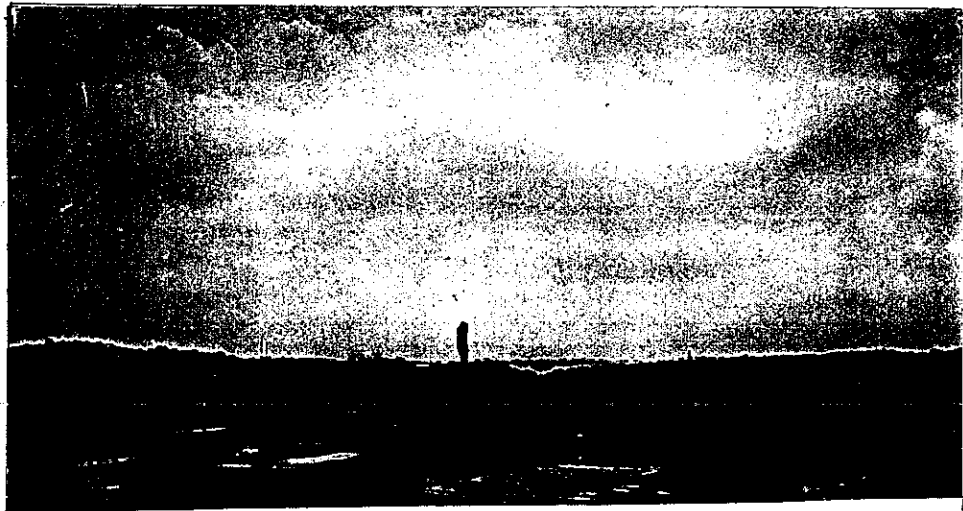
Tambang Air Laya merupakan tambang terbuka yang menggunakan sistem penambangan menerus (*Continous Mining System*) dimana peralatan gali, angkut dan penimbunan (tanah dan batubara) merupakan satu sistem rangkaian kerja. Sistem ini bisa menghasilkan produksi dalam jumlah besar per satuan waktu. Adapun cara kerja sistem penambangan menerus ditambang Air Laya adalah sebagai berikut :

1. *Bucket Wheel Excavator* (BWE) menggali tanah atau batubara.
2. Hasil galian diangkut melalui *Belt Wagon* (BW), dilanjutkan dengan *conveyor* penggalian (CE) menuju *conveyor shunting* (CS) untuk dipisahkan di *conveyor* pembagi (CDP) kearah jalur yang sesuai.
3. Jika material yang digali adalah tanah (*waste*), maka CDP akan menghubungkan CS dengan *conveyor* penimbunan (CD) yang akan membawa tanah sampai ke alat penghampar tanah (*Spreader*) di tempat penimbunan tanah (*dumping area*).

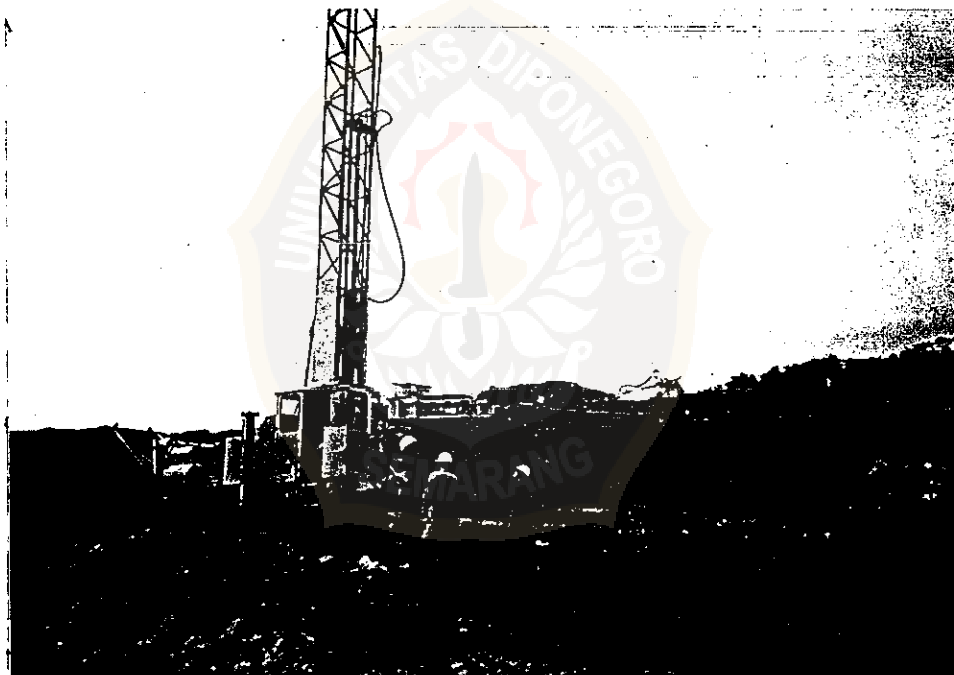
4. Jika material yang digali adalah batubara, maka CDP akan menghubungkan CS dengan *conveyor* batubara (CCO) yang akan membawa batubara menuju alat penumpang batubara (*Stacker / SR*) di tempat penimbunan batubara atau *Stock pile*. Dengan alat yang sama (SR), batubara di *Stock pile* dapat diambil lagi (*reclaiming*) untuk di setorkan ke stasiun pemuatan gerbong batubara (*Train Loading Station / TLS*).
5. Semua kegiatan dalam rangkaian kerja sistem penambangan menerus di TAL dipantau di Pusat Kendali Tambang (*Mining Control Center / MCC*).



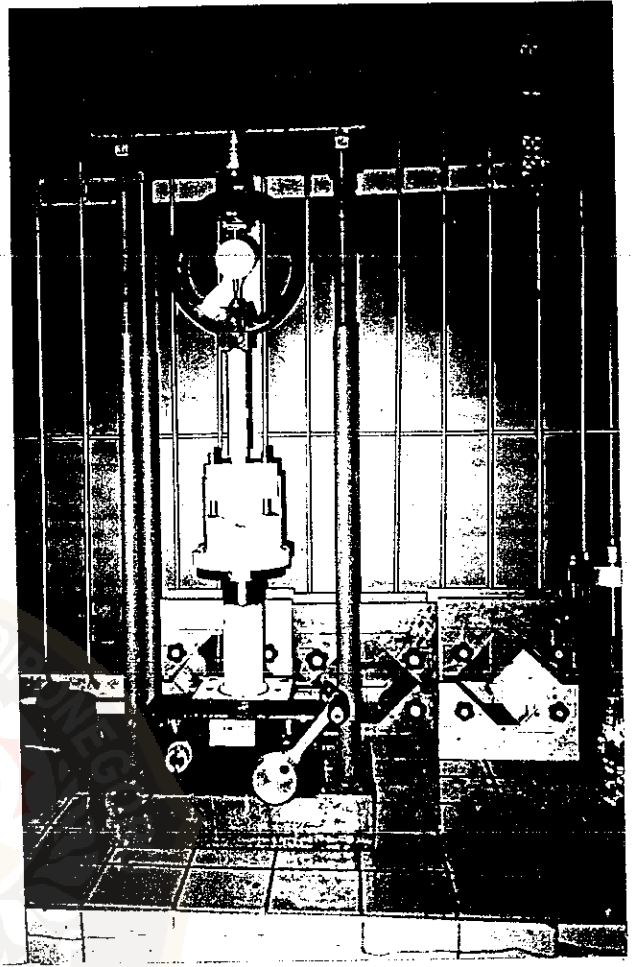
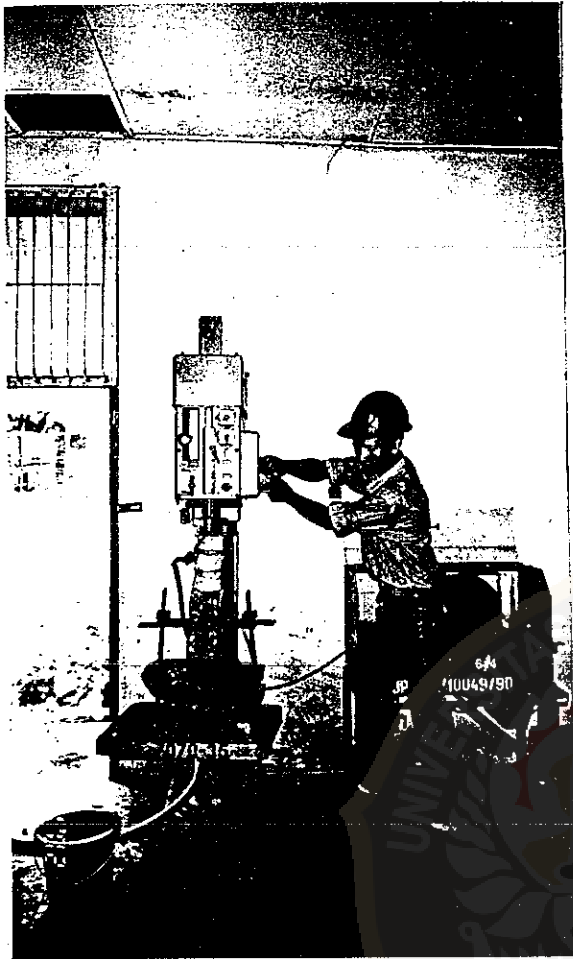




Gambar F.1 Pelaksanaan peledakan pada (dari atas ke bawah)
percobaan 1, percobaan 2 dan 3 serta percobaan 4.



Gambar F.3 (Dari atas ke bawah) Mesin bor dan pelaksanaan pengeboran lubang ledak di lapangan



Gambar F.2 (Dari kiri ke kanan) Pelaksanaan coring dan alat uji *indirect tensile strength*.

