

## GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN KAITANNYA DENGAN POTENSI PELULUKAN / LIKUIFAKSI DI DAERAH ERETAN DAN LOSARANG, JAWA BARAT

U.M.Lumban Batu dan S. Hidayat

Pusat Survei Geologi  
Jl. Diponegoro 57, Bandung - 40122

### Sari

Daerah penelitian ini merupakan dataran pantai yang tersusun oleh endapan Kuarter berupa tanah penutup, endapan rawa, endapan laut dekat pantai (endapan transisi), endapan laut lepas pantai dan endapan pra Holosen. Lebih lanjut, endapan laut dekat pantai dapat dipisahkan menjadi endapan *sand flat*, *mix flat*, *mud flat* dan endapan pasir pematang pantai (*beach sand*). Umumnya endapan di atas mempunyai sifat fisik yang masih urai (*loose*), jenuh air (*water saturated*). Di antara endapan tersebut pasir pematang pantai *sand flat* dan *mix flat* merupakan material yang mempunyai tingkat kerentanan pelulukan yang tinggi. Berdasarkan data – data kegempaan, mekanisme pemicu kejadian gempa di daerah penelitian dapat dipisahkan ke dalam dua lajur yaitu lajur subduksi dan lajur sesar aktif. Kejadian gempa bumi pada tanggal 8 Agustus 2007 pukul 04:58 dikenal dengan nama Gempa Indramayu. Gempa ini adalah salah satu contoh gempa yang dipicu oleh aktivitas subduksi karena gempa tersebut terjadi pada kedalaman yang cukup dalam yaitu 289,2 Km, dengan magnitud M 7.5 skala Richter. Apabila ditinjau dari aspek geologi dan kegempaan, maka daerah penelitian ini terindikasi berpotensi untuk mengalami kejadian pelulukan. Berdasarkan sifat fisik endapan rentan pelulukan dan kedudukannya posisi stratigrafisnya serta faktor lainnya seperti ketebalan lapisan pasir, jenis batuan yang menutupi/menindih dan mengalasi lapisan pasir maka kerentanan pelulukan di daerah ini dapat dibagi menjadi Wilayah Kerentanan Pelulukan Sangat Rendah, Wilayah Kerentanan Pelulukan Rendah dan Wilayah Kerentanan Pelulukan Tinggi.

Kata kunci : kuarter, gempa, pelulukan, Indramayu

### Abstract

*The investigated area which belongs to the coastal plain is composed of Quaternary sediments such as soil, swamp, near shore, offshore and pre-Holocene sediments. Further more, near shore sediment can be divided into sand flat, mixed flat, mud flat and beach sand. In general those sediments are still loose and water saturated. Among beach sand, sand flat and mix flat have a high level of vulnerability to liquefied. Based on seismic data, an occurrence of earthquakes can be triggered by two earthquake sources namely subduction sources. An earthquake took place on August 8, 2007 at 04:58 known as Indramayu Earthquake is an example of earthquake triggered by subduction zone since the quake has a depth of 289.2 Km with a magnitude of M 7.5 on the Richter scale. From the geological aspect and seismicity point of view the investigated area is potential for experience liquefaction events. Based on the physical properties of the sand deposits and their stratigraphical position as well as other factors such as a thickness of sand layer, types of overlay and underlain sediments then a liquefaction susceptibility in this region can be divided into very low liquefaction susceptibility region, low liquefaction susceptibility region and high liquefaction susceptibility region.*

Keywords: quaternary, earthquakes, liquefaction, Inramayu

### Pendahuluan

Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat 108°00' - 108°15' BT dan 6°10' - 6°30' LS (Gambar 1). Daerah penelitian ini mencakup wilayah Eretan kulon, Saradan, Pranggong dan Losarang. Daerah ini merupakan wilayah yang seismisitas sedang dengan percepatan getaran tanah maksimum 0.2 - 0.3 g (Masyhur, 2010).

Daerah penelitian, apabila ditinjau dari letak geografisnya berpotensi untuk berkembang dengan sangat pesat, karena daerah penelitian ini terletak di jalur pantai utara Jawa, di mana jalur ini memiliki fungsi yang sangat penting dan menjadi urat nadi utama transportasi darat yang menghubungkan wilayah barat dan timur Pulau Jawa (Jakarta dan Surabaya). Konsekuensinya, pertumbuhan penduduk cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Oleh karena itu seiring dengan penambahan penduduk, maka percepatan pembangunan di bidang penyediaan berbagai sarana, seperti

pemukiman, perkantoran, kawasan industri, sarana transportasi, dan sebagainya perlu dilakukan. Perencanaan pengembangan wilayah yang berwawasan perlu mempertimbangkan potensi sumberdaya serta kendalanya (limitasi). Potensi sumber daya alam perlu dianalisis supaya terdapat keseimbangan antar potensi ketersediaan sumberdaya alamnya dengan kebutuhan. Oleh karena itu, di masa mendatang, terkait dengan otonomi daerah diperlukan penataan ruang berbasis aspek dinamika geologi Kuartar.

Salah satu kendala yang mungkin terjadi di daerah penelitian ini adalah berupa bencana geologi yaitu ancaman bahaya pelulukan/likuifaksi, erosi, sedimentasi (pendangkalan) dan inundasi (tergenangnya dataran pantai akibat dari perubahan iklim). Pada tulisan ini akan dikhususkan membahas potensi kerentanan bencana pelulukan.

Apabila ditinjau dari aspek geologi dan kegempaan, daerah penelitian ini berpotensi untuk mengalami kejadian pelulukan. Hal ini didasarkan kepada batuan penyusun terdiri atas hampir 90% endapan Kuartar muda (Achnan dan Sudana 1992). Endapan Kuartar muda tersebut disusun oleh berbagai endapan sedimen klastik yang sifatnya masih urai (*loose*) dan belum mengalami pematangan/konsolidasi. Selain itu, posisi permukaan air tanah dangkal diperkirakan tidak dalam, karena daerah penelitian adalah merupakan daerah dataran pantai (*coastal plain*).

Berdasarkan sejarah kegempaan, daerah penelitian ini cukup berpotensi untuk digoncang gempa walaupun lajur subduksi yang dianggap merupakan lajur sumber gempa yang dapat memicu pelulukan terletak jauh di selatan. Terbukti pada tanggal 8 Agustus 2007 pukul 04:58 terjadi gempa yang cukup besar dengan M 7.5 skala Richter, dengan kedalaman 289,2 Km. Gempa ini dikenal dengan nama Gempa Indramayu. Walaupun kedalaman gempa cukup dalam, namun getaran yang ditimbulkannya dirasakan hingga ke Pulau Bali di sebelah timur dan Padang di sebelah barat. Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut di atas (aspek litologi, aspek kegempaan dan posisi permukaan air tanah dangkal), maka daerah ini diperkirakan dapat mengalami bencana pelulukan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian yang lebih rinci, menyangkut bahaya pelulukan di wilayah ini. Dengan mengetahui potensi bencana geologi berupa pelulukan, maka perencanaan pengembangan wilayah untuk peruntukan pemukiman, kawasan industri, perdagangan dan wisata dapat ditata sesuai dengan daya dukung lahan.

Seperti diketahui bencana akibat pelulukan merupakan salah satu bencana yang paling merusak dan menimbulkan kerugian yang cukup besar. Contoh berikut ini adalah gempa - gempa yang memicu terjadinya pelulukan dan menimbulkan korban jiwa serta kerugian material yang cukup besar, seperti Gempa bumi Nigata Jepang 1964, Gempa Alaska USA 1964, Gempa Flores 1992, Gempa Biak 1996, Gempa Aceh 2004, Gempa Yogyakarta 2007. dan Gempa Padang 30 September 2009.

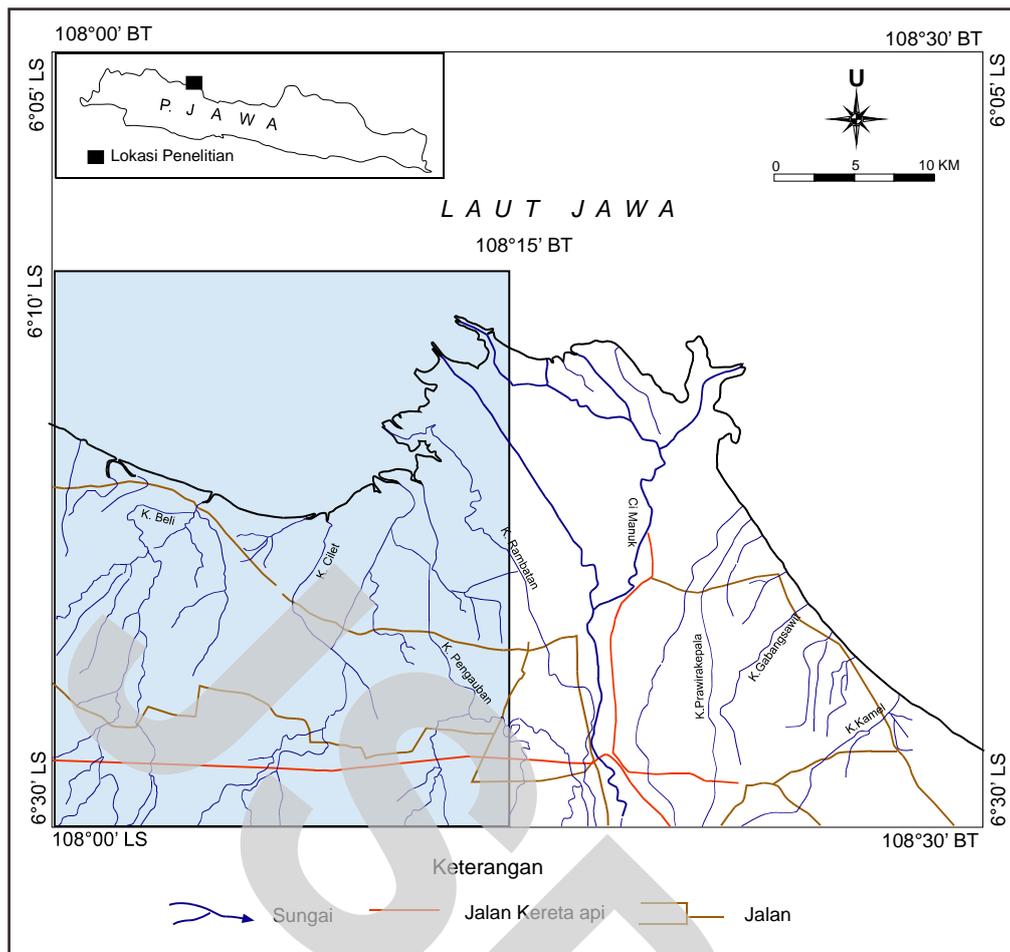
Penelitian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi bencana geologi menyangkut potensi kerentanan bencana pelulukan (*Liquefaction susceptibility*). Bencana pelulukan dibuat berdasarkan informasi geologi bawah permukaan dan sifat fisik endapan rentan pelulukan dan kedudukannya terhadap muka air tanah dangkal serta faktor lainnya seperti posisi lapisan pasir, ketebalan lapisan pasir, jenis batuan yang menutupi/menindih dan mengalasi lapisan pasir di daerah ini.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menyediakan data dasar menyangkut bencana pelulukan serta menggambarkan penyebaran tingkat potensi pelulukan di seluruh daerah penelitian. Diharapkan dengan ketersediaan data tersebut maka perencanaan pengembangan wilayah dapat dilakukan dengan mengacu pada peta tersebut, sehingga hasil-hasil pembangunan dapat terhindar dari ancaman bencana pelulukan.

### Metodologi

Data diperoleh dengan melakukan pemboran dangkal, menggunakan *hand auger*, terkumpul data sebanyak 108 titik hingga kedalaman kurang lebih 7,00 meter.

Pemboran dilakukan secara acak / random pada endapan Kuartar. Pemboran dimulai dari arah selatan ke arah utara (dari daratan ke arah pantai). Deskripsi pada setiap titik bor didasarkan kepada aspek sifat fisik dari endapan Kuartar tersebut. Sedangkan pengukuran muka air tanah diperoleh dari data bor dangkal dan data dari sumur penduduk. Beberapa percontoh endapan pasir diuji besar butirnya untuk mengetahui kisaran butir dari endapan Kuartar tersebut. Berdasarkan data dan informasi tersebut dilakukan kajian potensi kerentanan pelulukan di wilayah ini.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian daerah Indramayu, Jawa Barat.

## Tatanan Geologi

### Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Arjawinangun, Jawa Skala 1 : 100.000, (Achdan dan Sudana, 1992), batuan berumur Kuartar di daerah penelitian adalah sebagai berikut (Gambar 2):

#### *Batupasir tufan dan Konglomerat (Qav)*

Batupasir tufan dan konglomerat adalah batuan paling tua yang tersingkap di daerah ini, dan merupakan batuan alas yang berumur Pleistosen (Djuri, 1973). Batuanya terdiri atas konglomerat, batupasir konglomeratan, batupasir tufan dan tuf. Satuan ini merupakan endapan sungai jenis kipas aluvium (Djamal, 1986) dengan tebal diperkirakan lebih kurang 125 m. Satuan ini menempati bagian selatan daerah penelitian.

Di atas satuan ini, diendapkan endapan aluvium berumur Holosen berupa Endapan Dataran Banjir, Endapan Pantai, Endapan Pematang Pantai, Endapan Sungai dan Endapan Delta.

#### *Endapan Delta (Qad)*

Endapan delta terdiri atas sedimen klastik berbutir halus seperti lempung, dan lanau, berwarna coklat kehitaman serta mengandung sedikit moluska, ostrakoda, foraminifera dan bentos. Satuan ini sangat lunak masih belum mengalami kompaksi dan jenuh air, dan tersebar di daerah-daerah muara sungai besar, yaitu Sungai Cimanuk dan Sungai Cililin.

#### *Endapan Sungai (Qa)*

Endapan ini tersebar di sepanjang sungai sungai besar seperti Sungai Cimanuk, dan Sungai Kali Lantas. Batuan utamanya terdiri atas pasir, lanau dan lempung yang berwarna coklat. Endapan ini merupakan endapan alur sungai *resant*.

## *Endapan Pantai (Qac).*

Endapan ini terdiri atas lempung, lanau dan pasir mengandung pecahan moluska. Satuan ini berbatasan dengan tanggul-tanggul pantai. Daerah ini merupakan persawahan. Tersebar di pantai bagian tengah dan pantai bagian timur.

## *Endapan Pematang Pantai (Qbr)*

Endapan ini tersebar di sepanjang pantai dibagian timur dan membentuk pematang yang memanjang mengikuti garis pantai, sedangkan di bagian utara membentuk lekungan yang berbatasan dengan Endapan Pantai dan Endapan Dataran Banjir. Satuan batuan terdiri atas pasir kasar sampai halus dan lempung, banyak mengandung moluska.

## *Endapan Dataran Banjir (Qaf)*

Endapan ini tersebar luas, menempati sebagian besar daerah penelitian, tersusun oleh lempung pasir, lempung humusan, berwarna coklat keabuan sampai kemerahan. Kandungan tuf semakin tinggi ke arah selatan, dan warnanya berubah dari coklat kehitaman menjadi semakin kemerahan. Satuan ini menutupi satuan yang lebih tua dengan bidang erosi.

## Data Lapangan dan Analisis Data

Penelitian ini menghasilkan sebanyak 108 titik pemboran, dengan kedalaman rata-rata mencapai 7,00 m (Gambar 3). Selanjutnya, data yang diperoleh dari setiap titik bor direkam ke dalam log bor (penampang bor) dengan skala 1 : 1000.

Berdasarkan data yang terkumpul susunan batuan di daerah penelitian ini dapat dibedakan ke dalam 6 (enam) lingkungan pengendapan yang berbeda yaitu:

1. Tanah penutup
2. Endapan Cekungan Banjir (*flood basin*)
3. Endapan Rawa (*swamp*)
4. Endapan laut dekat pantai / transisi (*near shore deposit*)
  - a. Endapan *sand flat*
  - b. Endapan *mix flat*
  - c. Endapan *mud flat*
  - d. Endapan *beach sand*

5. Endapan laut lepas pantai (*off shore deposits*)

6. Batuan pre Holosen

Secara rinci masing-masing lingkungan pengendapan tersebut akan diuraikan sebagai berikut:

## *Tanah penutup*

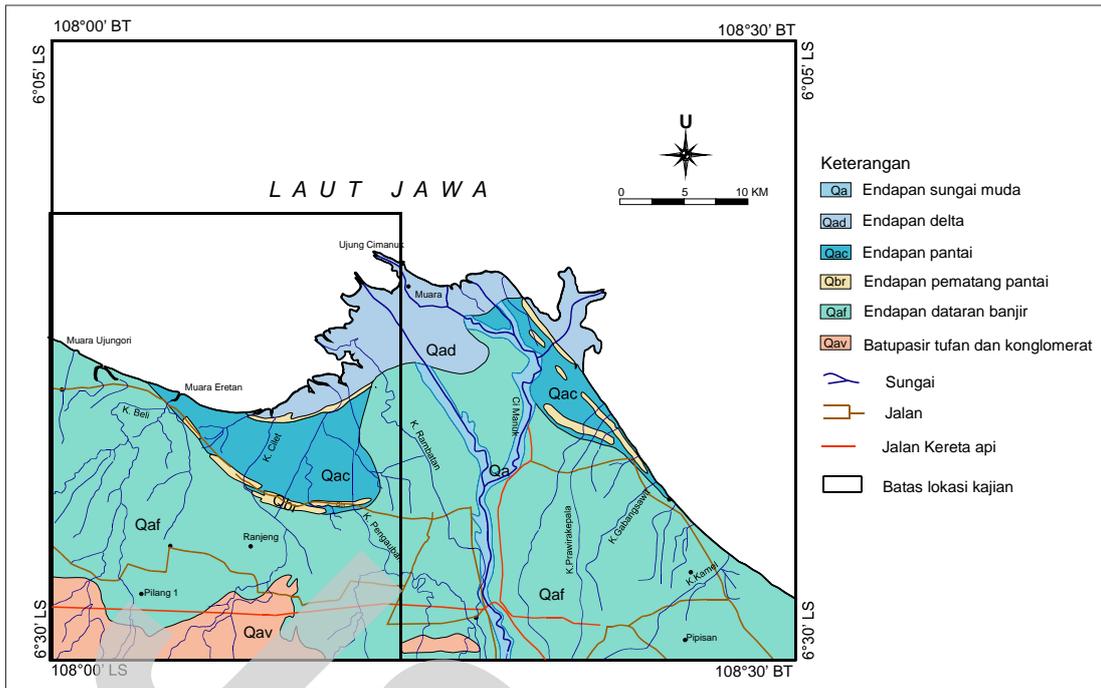
Batuannya pada umumnya terdiri atas lanau, lempung pasir atau pasir lempungan, berwarna abu-abu hingga kecoklatan. Pada umumnya satuan ini merupakan tanah yang sudah mengalami gangguan sehingga kadang-kadang dapat ditemukan berbagai jenis fragmen batuan seperti pecahan genteng, dan material lainnya seperti plastik dan lain lain.

## *Endapan Cekungan Banjir*

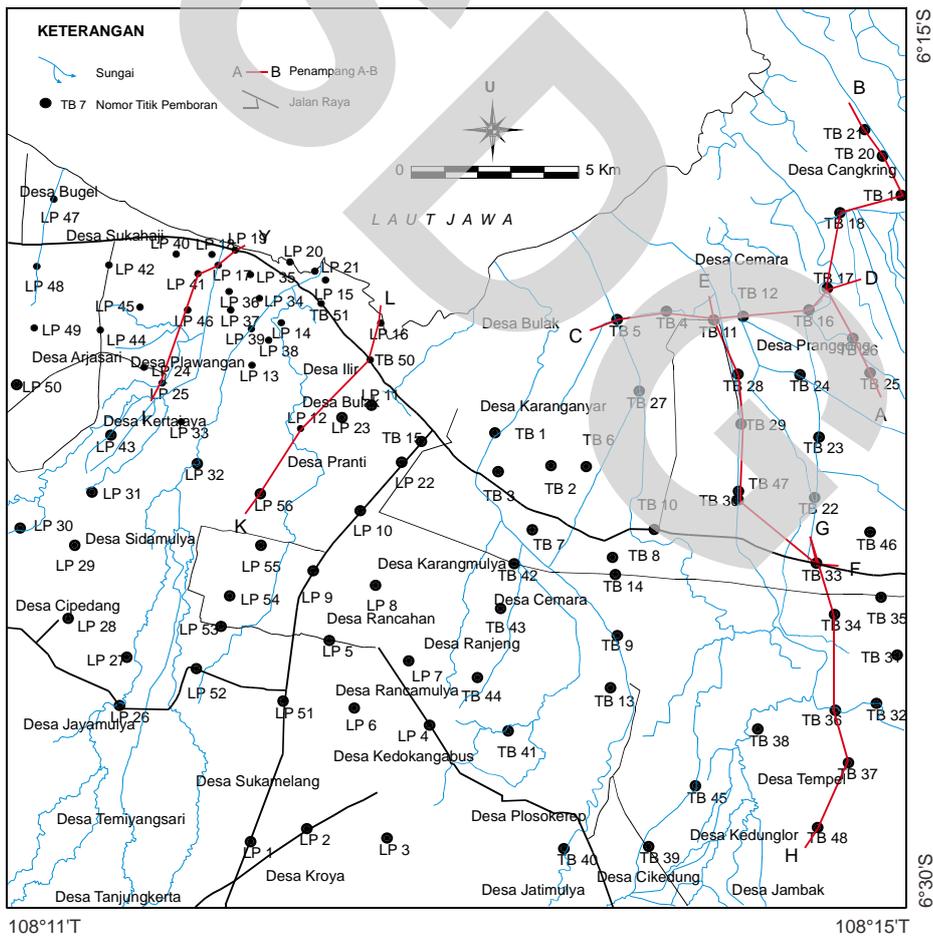
Lingkungan pengendapan cekungan banjir adalah bagian terbawah dari dataran banjir (Reineck dan Singh, 1973). Oleh karena itu, material yang diendapkan pada fasies lingkungan ini adalah material halus (*fine-grained sediment*). Batuannya terutama terdiri atas lanau, lempung dan sedikit pasir lempungan, berwarna abu-abu kecoklatan, coklat kekuningan sampai coklat kemerahan. Ketebalan satuan ini bervariasi mulai dari 0.45 - 3.30 m. Di bagian atas tampak mengandung sedikit fragmen sisa tumbuhan (*plant remain*) dan semakin jarang ke arah bawah. Selain itu, satuan ini sangat plastis dan pejal sehingga sangat sulit untuk ditembus oleh bor apabila endapan ini cukup tebal. Secara umum, satuan ini memperlihatkan bercak-bercak oksidasi dengan warna kecoklatan (*mottling*) yang dianggap sebagai akibat adanya pengaruh dari fluktuasi permukaan air tanah.

## *Endapan Rawa*

Batuan terdiri atas lempung lanauan, lempung berwarna abu-abu gelap hingga kehitaman. Satuan ini bersifat lunak, plastis, mengandung sisa tumbuhan berupa potongan kayu, daun dan akar (Gambar 4). Pada kedalaman tertentu terdapat adanya kantung-kantung pasir dan laminasi pasir yang sangat tipis dengan ketebalan yang bervariasi antara 5 - 10 cm, berwarna coklat kehitam-hitaman.



Gambar 2. Peta Geologi Lembar Indramayu, Jawa (Achdan dan Sudana, 1992).



Gambar 3. Peta lokasi titik pemboran dan garis penampang daerah Losarang dan Eretan, Indramayu.

## *Endapan Laut Dekat Pantai/Transisi*

Endapan ini terdiri atas lempung berwarna abu-abu kehijauan, bersih, sangat plastis, lunak, mengandung fosil foraminifera dan pecahan cangkang kerang (moluska). Pada kedalaman tertentu terdapat laminasi dari pasir berbutir halus-sedang, berwarna abu-abu kecoklatan. Secara umum, satuan ini tidak memperlihatkan struktur sedimen (massif). Endapan ini kemudian dapat dibedakan menjadi *sand flat*, *mix flat*, *mud flat* dan pematang pantai (*sand bar*).

Endapan *sand flat* pada umumnya didominasi oleh pasir halus dan lanau berwarna kebiruan mengandung fosil foram dan cangkang kerang. Endapan *mud flat* didominasi oleh lempung berwarna kebiru-biruan, lunak, bersih dan plastis, sebaliknya endapan *mix flat* merupakan perselingan pasir halus tipis dengan lempung tipis.

Sementara itu, pasir pematang pantai terdiri atas pasir yang mengandung cangkang kerang berbutir lebih kasar dengan pemilahan jelek (Gambar 5). Satuan ini membentuk morfologi bergelombang lemah.

## *Endapan Laut Lepas Pantai*

Satuan ini disusun oleh endapan lempung berwarna abu-abu kehijauan, lunak dan plastis serta mengandung fosil foraminifera kecil dan fragmen cangkang moluska (*broken shell*), massif tidak memperlihatkan adanya struktur sedimen.

Berdasarkan kumpulan foraminifera bentos, dapat disimpulkan bahwa batuan ini diendapkan pada lingkungan *marginal marine-inner shelf*.



Gambar 5. Foto endapan pasir pematang pantai yang banyak mengandung pecahan-pecahan cangkang kerang.



Gambar 4. Foto kenampakan endapan rawa yang memperlihatkan fragment atau potongan kayu dan sisa-sisa tanaman.

## *Endapan pra Holosen (pre Holosen Deposit)*

Satuan yang mengalasi endapan Holosen tersebut di atas terdiri atas pelapukan dari batuan vulkanik muda yang berwarna coklat kemerah-merahan, sangat plastis/pejal (liat) dan padat. Di bagian atas, satuan ini dicirikan oleh bercak kemerahan, setempat mengandung kerakal berupa sisa dari batuan asalnya.

## *Kegempaan*

Sumber pemicu terjadinya gempa di daerah ini bersumber dari aktivitas subduksi dan sesar aktif. Gempa yang bersumber dari subduksi dicirikan oleh perubahan kedalaman gempa dari selatan ke arah utara secara berangsur-angsur berubah dari dangkal menjadi lebih dalam (Gambar 6) sesuai dengan sudut penunjaman lempeng. Sebaliknya gempa yang bersumber dari aktivitas sesar aktif dimaknai dari terdapatnya beberapa gempa dangkal (0 - 90 km) dengan magnitudo sebesar 4 - 6 Mb. Karena letak titik pusat gempanya jauh dari zona subduksi dapat dipastikan gempa-gempa dangkal tersebut tidak terkait dengan aktivitas daru subduksi. Oleh karena itu gempa ini merupakan gempa yang yang kejadiannya dipicu oleh sesar aktif.

Secara umum, gempa-gempa tersebut digolongkan sebagai gempa dalam dan jaraknya jauh dari lokasi penelitian. Akan tetapi menurut hasil pengamatan Obermier drr, (1993) di Lembah Wabash pelulukan masih terjadi walaupun jarak titik pusat gempa ke Lembah Wabash sekitar 500 Km. Dengan kata lain, proses terjadinya pelulukan hampir dapat dianggap tidak berpengaruh terhadap fungsi jarak gempa. Akan tetapi faktor kekuatan gempa menjadi peranan penting. Contoh faktual adalah gempa Indramayu

yang terjadi pada 8 Agustus 2007 dengan magnitudo 7.5 pada kedalaman 289.2 Km. Mekanisme fokal gempa menunjukkan sesar naik dengan arah dan kemiringan sesar adalah  $N 323^{\circ} E / 28$ . Titik pusat gempa terletak pada koordinat  $6,17^{\circ} LS$  dan  $107,66^{\circ} BT$ .

#### Pelulukan/Likuifaksi

Seed dan Idris (1971), dan Seed dr. (1983) telah banyak membahas metodologi yang tepat dalam mengevaluasi potensi bencana pelulukan di suatu tempat. Dalam penelitian ini, evaluasi dibatasi terhadap kerentanan pelulukan (*liquefaction susceptibility*) yang didasarkan kepada informasi geologi bawah permukaan.

Pelulukan pada dasarnya terjadi pada endapan sungai purba (*palaeo channel*), pasir pematang pantai (*sand bar*) dan daerah reklamasi (*reclaimed area*) yang bersifat urai (*loose*), jenuh air (*water saturated*). Di daerah pantai khususnya, di Desa Kertawinangun Kecamatan Kandanghaur terdapat aliran sungai besar seperti Sungai Menir dan Kali Perawan dilakukan pemboran yang lebih rapat. Hal ini untuk mengetahui perkembangan atau evolusi dari sungai purba tersebut. Saat ini kenampakan dari kedua sungai sangat lurus. Oleh karena itu dicurigai bahwa sungai tersebut sudah mengalami rehabilitasi pelurusan sungai. Dengan merapatkan titik bor diharapkan dapat merekonstruksi atau mengetahui evolusi / perkembangan sungai purba dari Sungai Menir dan Kali Perawan tersebut. Dengan demikian dapat diketahui penyebaran endapan sungai purba yang secara umum terdiri atas pasir lepas dan jenuh air.

Dari data yang diperoleh tidak terlihat adanya endapan sungai purba di daerah itu. Untuk sementara dapat dikatakan bahwa sungai tersebut tidak mengalami perpindahan. Oleh karena itu, potensi bencana pelulukan / likuifaksi di daerah penelitian berdasarkan dari komposisi batuan yang terdapat di daerah ini tidaklah terlalu signifikan. Sementara itu, di daerah Losarang endapan yang mempunyai potensi untuk mengalami pelulukan ditemukan berupa endapan pasir pematang pantai (BS 1) (Gambar 7) mencakup daerah Desa Muntur, Sarang Wetan, Losarang, Jumlang, Pangkalan Kulon dan Kiajaran Wetan. Semakin mendekati ke arah garis pantai, ditemukan endapan pematang pantai (BS 2) yang tersebar daerah Pranggong di Blendung, Cemara Kulon, Cemara Bong, Karangmalang dan di Blok Tengah.

Morfologi Endapan Pematang Pantai memperlihatkan perbedaaan dengan morfologi di sekitarnya. Daerah yang tersusun oleh endapan pasir pematang pantai pada umumnya menampilkan *relief* yang lebih tinggi serta banyak ditanami oleh tanaman keras seperti kelapa, pohon jati, mangga dan sebagainya. Pada umumnya daerah ini dijadikan perkampungan karena pasokan air untuk keperluan rumah tangga cukup memadai.

Sebanyak tiga percontoh pasir di kirimkan ke Laboratorium Pusat Survei Geologi untuk analisis besar butir. Contoh PL 05, adalah contoh pasir yang mewakili endapan pasir pematang pantai, PL 06, adalah contoh pasir yang mewakili endapan cekungan banjir, dan contoh PL 10 merupakan contoh yang mewakili endapan sungai purba. Metode yang dilakukan untuk analisis besar butir menggunakan ayakan kering (*dry sieved analysis*). Hasil analisis besar butir kemudian diplot ke dalam grafik, untuk mengetahui apakah ke tiga endapan pasir tersebut termasuk ke dalam rentan pelulukan (Gambar 8).

Hasil perhitungan statistik menunjukkan bahwa contoh pasir dari daerah penelitian tergolong ke dalam pasir halus, menengah dan kasar dengan pemilahan buruk sampai sedang. Atas dasar bentuk butir dan pemilahan yang buruk, contoh-contoh tersebut ditafsirkan diendapkan di lingkungan darat sebagai endapan alur sungai purba, cekungan banjir dan pasir pematang pantai. Wang (1979), menyebutkan endapan yang berpotensi mengalami pelulukan adalah endapan yang berbutir halus ( $> 0.005mm$ ) dengan kandungan air  $>0.9$ . Selanjutnya bentuk butir yang membundar baik (*well rounded*) dengan keseragaman butir yang baik (*well sorted*), mempunyai kerentanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk butir menyudut tanggung - menyudut (*sub angular - angular*).

#### Penjaluran Potensi Pelulukan

Pelulukan dapat terjadi akibat getaran atau guncangan gempa yang dapat menaikkan tekanan air antar butir (*pore water pressure*). Tekanan air antar butir tersebut dapat terjadi oleh akibat dari berkurang volume rongga karena adanya perubahan susunan butir. Pelulukan terjadi apabila tekanan air antar butir tersebut melampaui batas litostatisnya. Oleh karena itu terjadinya pelulukan juga dapat dikontrol oleh runtunan batuan. Apabila lapisan rentan pelulukan ditutupi oleh lapisan yang permeabilitas-

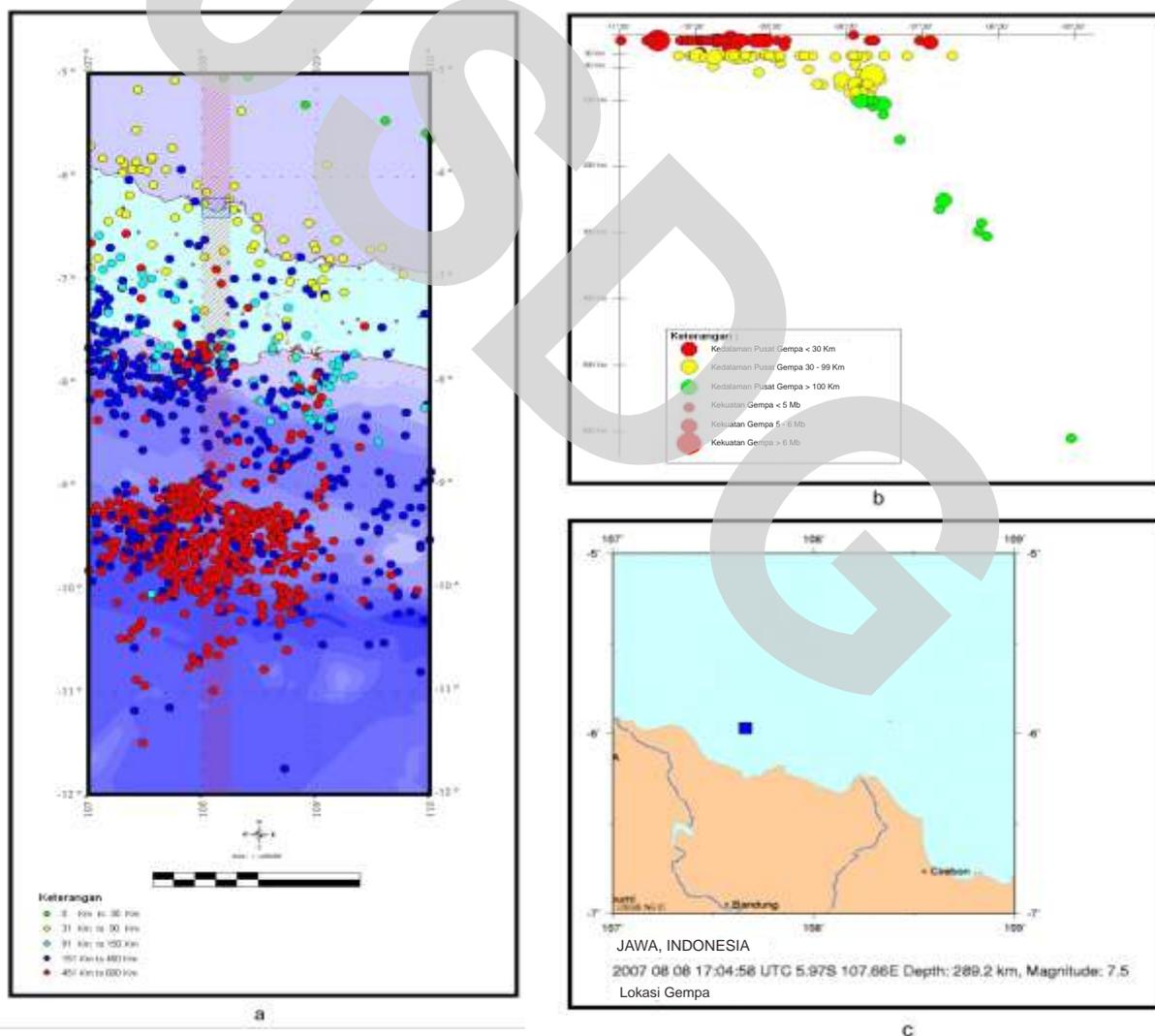
nya rendah, maka tekanan air antar butir dapat meningkat.

Dari uraian tersebut diketahui bahwa faktor yang dapat mempengaruhi perubahan tekanan air antar butir tersebut termasuk magnitude gempa, lamanya getaran/guncangan, ukuran besar butir, bentuk butir, kesarangan butir lapisan penutup, pemilahan butir (*sorting*) dan densitas batuan (Lumban Batu, 2004; Lumban batu dan Suyatman, 2007).

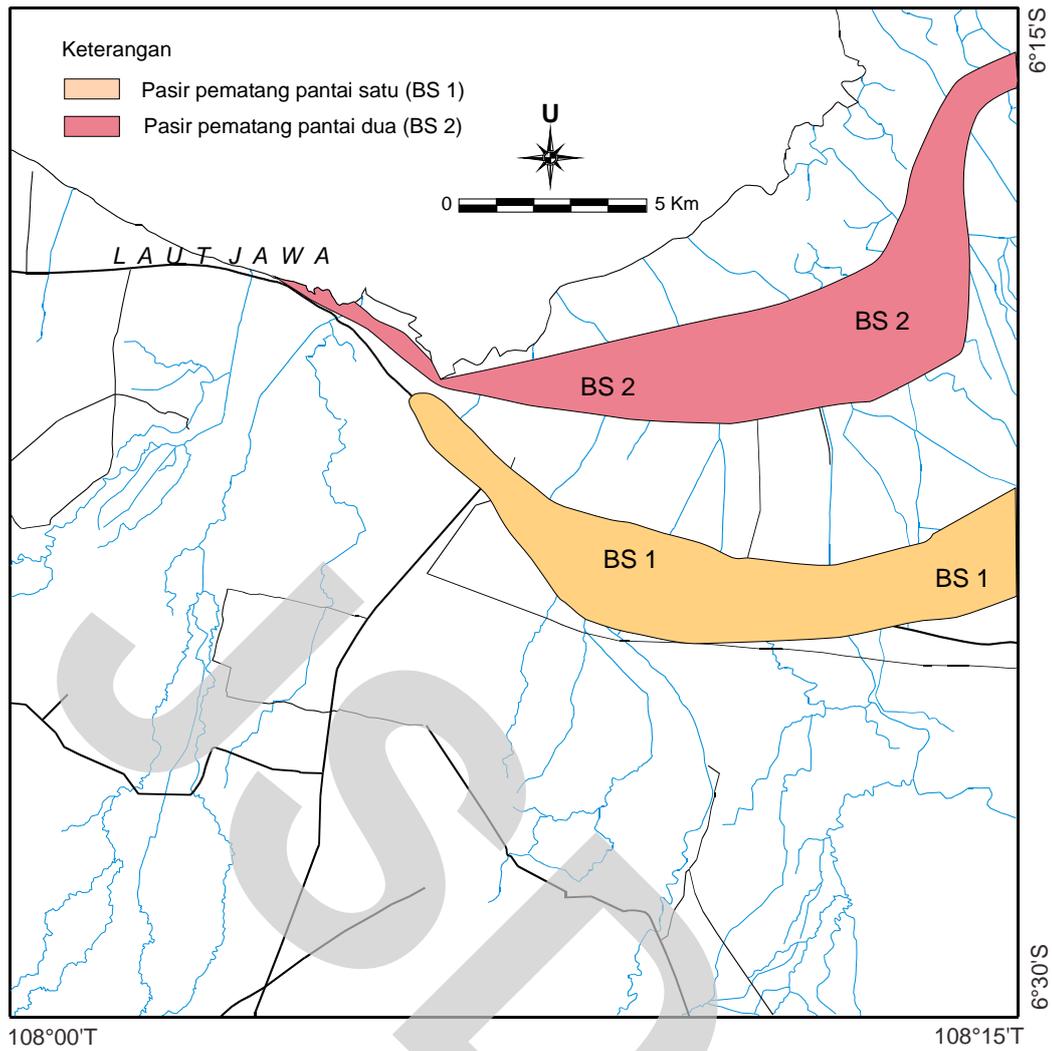
Di daerah penelitian, batuan terdiri atas *pre Holocene*, endapan cekungan banjir, endapan rawa, endapan laut dekat pantai (*sand flat, mix flat, dan mud flat*, dan endapan pasir pematang pantai serta endapan laut lepas pantai.

Endapan rawa, endapan laut dekat pantai, dan endapan laut lepas pantai tidak dikategorikan

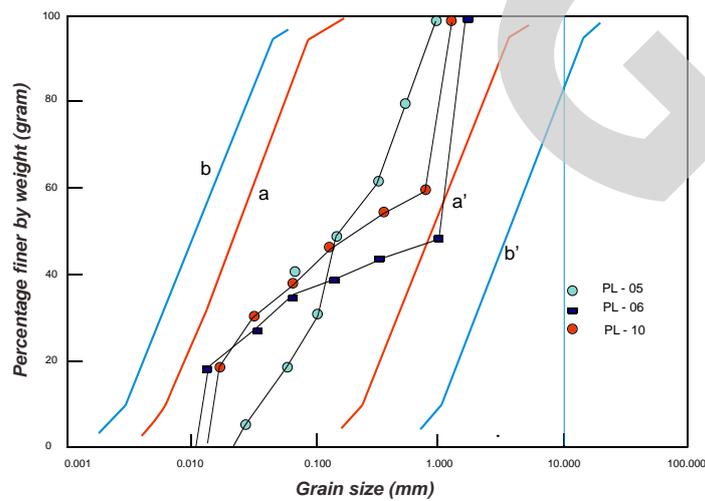
kedalam endapan yang rentan terhadap pelulukan. Umumnya batuan terdiri atas lempung, lanau dan lempung lanauan. Jenis endapan ini dapat menyimpan air tetapi tidak dapat melepaskannya. Seed dr. (1983), menyatakan bahwa sedimen lempung tidak akan mengalami pelulukan apabila diguncang oleh gempa bumi. Sama halnya dengan endapan dataran banjir dan endapan cekungan banjir yang mengandung lapisan pasir berupa perselingan antara lempung, lanau dan lapisan pasir tipis juga termasuk kategori tidak rentan terhadap pelulukan. Youl dan Perkin (1978) menyebutkan bahwa pasir (*clean sand*) dan pasir lanauan (*silty sand*) yang diendapkan di lingkungan alur sungai lebih rentan dibandingkan dengan perselingan antara pasir kasar dan *gravel* yang diendapkan di lingkungan kipas aluvial.



Gambar 6. (a) Sebaran titik pusat gempa berdasarkan kedalaman dalam kurun waktu 2005–Agustus 2010 (NEIC – USGS), (b) Penampang kedalaman pusat dan magnitude gempa arah utara – selatan, (c) Titik pusat gempa Indramayau 8 Agustus 2007.



Gambar 7. Peta sebaran pasir pematang pantai daerah Losarang dan Eretan, Indramayu.



Gambar 8. Diagram distribusi besar butir diplot ke dalam grafik Tsucida (1971). a - a' zona kerentanan tinggi, b - b' zona kerentanan rendah-sedang

Oleh karena itu, dari berbagai jenis fasies lingkungan pengendapan yang terdapat di daerah penelitian, terlihat bahwa yang berpotensi untuk mengalami pelulukan adalah endapan pasir pematang pantai, *sand flat*, dan *mix flat*. Sifat fisik endapan tersebut pada umumnya masih urai, jenuh air dan belum mengalami kompaksi.

### *Penjaluran Kerentanan Pelulukan*

Untuk mengetahui gambaran runtunan batuan, maka beberapa penampang pemboran dibuat dengan arah utara – selatan dan timur - barat. Penampang tersebut antara lain Penampang A-B, Penampang C-D, Penampang E-F, Penampang G-H, Penampang I-J, Penampang K-L dan Penampang M-N. Berdasarkan data dan kondisi tersebut di atas, maka tingkat kerentanan pelulukan di daerah Indramayu dan sekitarnya, dapat dipisahkan menjadi wilayah kerentanan pelulukan sangat rendah, rendah dan wilayah kerentanan pelulukan tinggi (Gambar 9).

### *Wilayah Kerentanan Pelulukan Sangat Rendah*

Wilayah kerentanan pelulukan sangat rendah dibentuk oleh endapan transisi berupa *mix flat*, dan *mud flat* yang terdiri atas lempung, lanau, dan selang seling lapisan tipis lempung, lanau dan pasir halus. Secara umum warnanya kebiruan mengandung banyak pecahan cangkang kerang. Morfologinya sangat datar dan kadang-kadang terdapat genangan-genangan air (*pond*). Wilayah ini pada umumnya dimanfaatkan penduduk menjadi tambak garam dan tambak ikan.

Pada Penampang G-H, Penampang I-J, dan Penampang K-L (Gambar 10) terlihat susunan lapisan bawah permukaan berupa endapan limbah Banjir (FB), rawa (R), *mix flat* (MF) dan endapan laut lepas pantai (M). Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa endapan yang mengandung lapisan pasir yang signifikan untuk memungkinkan terjadinya pelulukan sangat sedikit. Lapisan pasir tipis hanya terdapat pada endapan limbah banjir dan endapan *mix flat*.

Wilayah kerentanan pelulukan sangat rendah ini menempati bagian utara daerah penelitian dan sebagian lagi tersebar di bagian tengah hingga bagian barat mencakup Kecamatan Kandanghaur dan Kecamatan Sukra.

### *Wilayah Kerentanan Pelulukan Rendah*

Wilayah ini disusun oleh endapan transisi berupa endapan *sand flat* dan *mix-flat* dari endapan pasang – surut (*tidal deposits*). Endapan ini terdiri atas pasir sangat halus berwarna kebiru-biruan, banyak mengandung fragmen atau pecahan cangkang kerang. Secara umum, endapan ini diselang selingi oleh lapisan lempung tipis, dan ketebalan sedimen ini bervariasi mulai dari 0.5 – 4 m yang posisinya terletak di bawah dari permukaan air tanah dangkal.

Pada penampang E-F (Gambar 11), terlihat bahwa endapan rentan pelulukan ini ditutupi oleh endapan rawa (R) dan endapan cekungan banjir (FB) yang cukup tebal berkisar dari 2 – 4 m dan kemudian diakhiri oleh tanah penutup. Sebaliknya lapisan yang mengalasi lapisan rentan pelulukan tersebut disusun oleh endapan laut lepas pantai (M).

Wilayah ini menempati bagian timur dari daerah penelitian mencakup Desa Sukadadi, Tawang Sari, Sukasari, Cidempet, Cantigi Wetan dan Lamaran Trung. Di bagian selatan, daerah ini mencakup Desa Mundahjaya, Tempel Kulon, Cempeh, Kiajaran Kulon, Kiajaran Wetan dan Lanjut. Secara umum wilayah ini dimanfaatkan menjadi tambak ikan, sawah dan pemukiman serta perkebunan.

### *Wilayah Kerentanan Tinggi*

Wilayah ini disusun oleh endapan pasir pematang pantai, berbutir sedang-halus, berwarna abu-abu kebiru-biruan dengan pemilahan butir sedang – jelek, serta menyudut tanggung. Ketebalan pasir berkisar dari 2 – 7 m, membentuk morfologi berundulasi lemah. Lapisan rentan pelulukan tersebut dialasi dan ditutupi oleh lapisan yang permeabilitasnya relatif rendah. Menurut Ishihara (1985) dalam Matti (1991) pelulukan yang berpotensi menimbulkan kerusakan lahan (*ground failure*) yang dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di atasnya harus mempunyai perbandingan ketebalan antara lapisan penutup dengan lapisan pasir 1 : 2.

Pada Penampang A-B (Gambar 12) terlihat adanya tingkat kerentanan yang berbeda yaitu tingkat kerentanan tinggi dan tingkat kerentanan rendah. Wilayah yang tergolong mempunyai tingkat kerentanan tinggi disusun oleh endapan pasir pematang pantai (BS 2). Seed dr. (1983) menyatakan sedimen pasir yang kandungan lempungnya kurang dari 15 %, *liquid limit* kurang

dari 35 % dan kandungan air lebih besar dari 0.9 % mempunyai potensi untuk mengalami pelulukan.

Endapan ini ditindih oleh endapan cekungan banjir (FB) dengan ketebalan berkisar dari 0,5 – 2 m. Kehadiran endapan cekungan banjir yang menutupi endapan pasir pematang pantai tersebut menjadikan lapisan pasir pematang tersebut sangat rentan pelulukan. Lapisan cekungan banjir yang umumnya terdiri atas lempung berwarna coklat dapat berfungsi sebagai lapisan yang menahan air keluar sehingga tekanan air antar butir bisa menjadi tinggi apabila ada guncangan gempa. Ke arah mendatar, pasir pematang pantai tersebut berubah secara berangsur menjadi *sand flat* dan *mix flat* dari endapan laut dekat pantai (transisi), yang digolongkan ke dalam wilayah kerentanan pelulukan rendah. Kerentanan pelulukan rendah pada umumnya disusun oleh endapan *sand flat* dan *mix flat*, yang komposisi batuanannya merupakan perselingan antara lapisan lanau dan lempung. Endapan ini ditindih oleh endapan penutup dengan ketebalan berkisar dari 2 – 4.5 m berupa endapan rawa, cekungan banjir dan tanah penutup.

Untuk mengetahui perkembangan pasir pematang tersebut ke arah mendatar (timur-barat) dibuatlah Penampang C-D, dan Penampang M-N (Gambar 13) Pada kedua penampang tersebut terlihat bahwa lapisan pasir pematang pantai mempunyai ketebalan yang cukup tebal yaitu berkisar 3 – 7 m. Lapisan pasir pematang pantai tersebut dialasi oleh endapan laut dekat pantai. Sementara itu di bagian atas lapisan penutup terdiri atas endapan cekungan banjir, rawa (R) dan tanah penutup dengan ketebalan sekitar 0.5 m. Akan tetapi, pada Penampang (C-D) terlihat bahwa lapisan rentan pelulukan tidak tertutupi oleh lapisan penutup secara keseluruhan sehingga aliran air dapat lepas ke permukaan melalui lapisan yang tidak ditutupi tersebut.

Penampang M-N berlokasi di sepanjang jalan raya menuju ke Indramayu, terlihat bahwa lapisan rentan pelulukan tersebut ditutupi secara keseluruhan oleh endapan rawa (R) dan tanah penutup. Oleh karena itu daerah ini mempunyai tingkat kerentanan yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan lapisan kerentanan yang terletak di daerah yang dilalui oleh Penampang C-D.

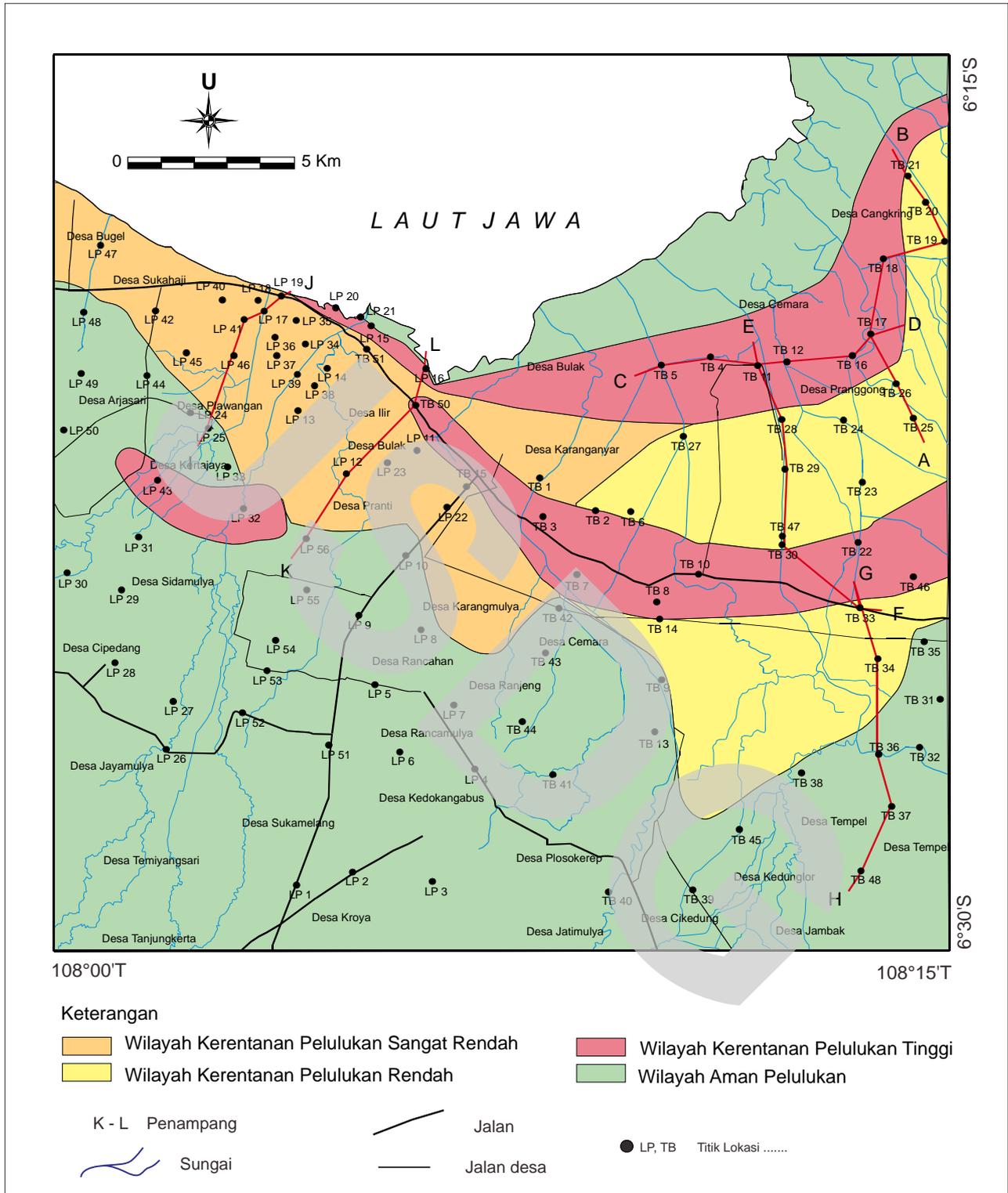
Wilayah tingkat kerentanan tinggi ini menempati bagian utara dan selatan Kecamatan Losarang itu sendiri. Di utara Kecamatan, Losarang, wilayah ini memanjang dari barat Desa Peraan Girang,

Pranggeng dan Cantigi Kulon di bagian timur.

Pada umumnya lapisan rentan pelulukan secara stratigrafis terletak di bawah permukaan air dangkal. Oleh karena itu, sifatnya masih sangat jenuh air dan urai, sedangkan lapisan rentan pelulukan yang tersebar di bagian selatan dimulai dari Desa Karanganyar di sebelah barat dan kemudian menerus ke timur menempati Desa Karimun, Puntang, Jembleng, Pangkalan, Kiajaran Kulon, Sukasari di bagian timur. Umumnya wilayah ini ditanami penduduk berupa tanaman keras jenis kelapa, kayu jati, dan mangga selain dijadikan pemukiman.

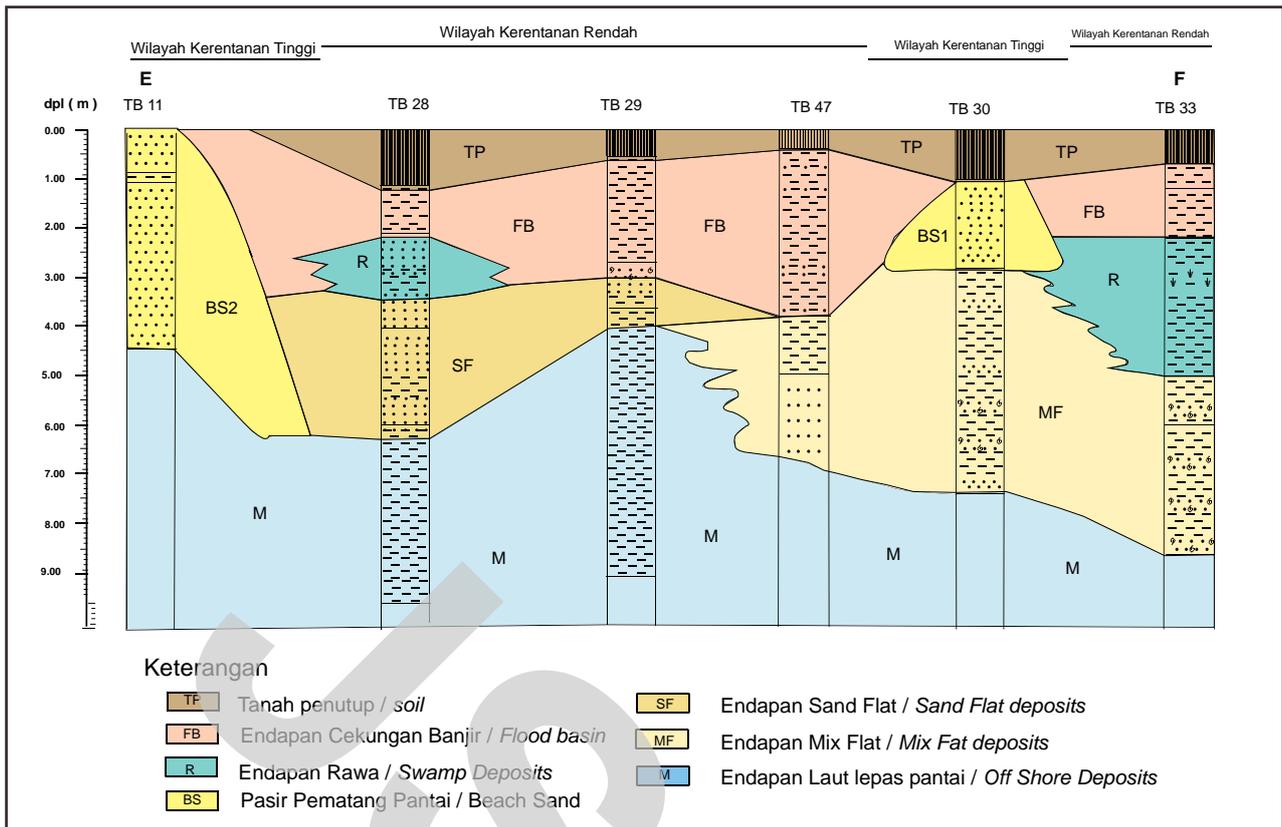
### Kesimpulan

- Ditinjau dari aspek geologi dan kegempaan, daerah penelitian ini terindikasi berpotensi untuk mengalami kejadian pelulukan. Hal ini didasarkan kepada batuan penyusun di daerah penelitian yang hampir 90% terdiri atas endapan Kuartir muda. Endapan Kuartir muda tersebut disusun oleh berbagai endapan sedimen klastik yang sifatnya masih urai (*loose*) dan belum mengalami pemadatan/konsolidasi.
- Berdasarkan data yang terkumpul dari ke 108 titik pemboran, susunan batuan di daerah penelitian ini dapat dibedakan ke dalam 6 (enam) jenis lingkungan pengendapan yang berbeda yaitu : 1. Tanah penutup, 2. Endapan cekungan banjir, 3. Endapan rawa, 4. Endapan laut dekat pantai/transisi, 5. Endapan laut lepas pantai, 6. Batuan pra Holosen.
- Selanjutnya endapan laut dekat pantai/transisi dibedakan atas endapan *sand flat*, endapan *flat*, endapan *mud flat*, dan endapan *beach sand*.
- Dari ke enam endapan tersebut endapan pasir pematang pantai, *sand fat* dan *mix flat* diketahui mempunyai potensi untuk mengalami pelulukan.
- Selain dipengaruhi oleh jenis endapannya, posisi stratigrafis dari endapan rentan pelulukan mempengaruhi tingkat kerentanan pelulukan di daerah tersebut. Oleh karena itu, dibuat beerapa penampang pemboran seperti penampang A-B, C-D, E-F, G-H, I-J, dan K-L.
- ? Evaluasi data analisis besar butir, posisi stratigrafis serta sifat fisik endapannya, maka potensi pelulukan di daerah penelitian dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok yaitu: Wilayah Kerentanan Pelulukan Sangat Rendah, Wilayah Kerentanan Pelulukan Rendah dan Wilayah Karentanan Pelulukan Tinggi.

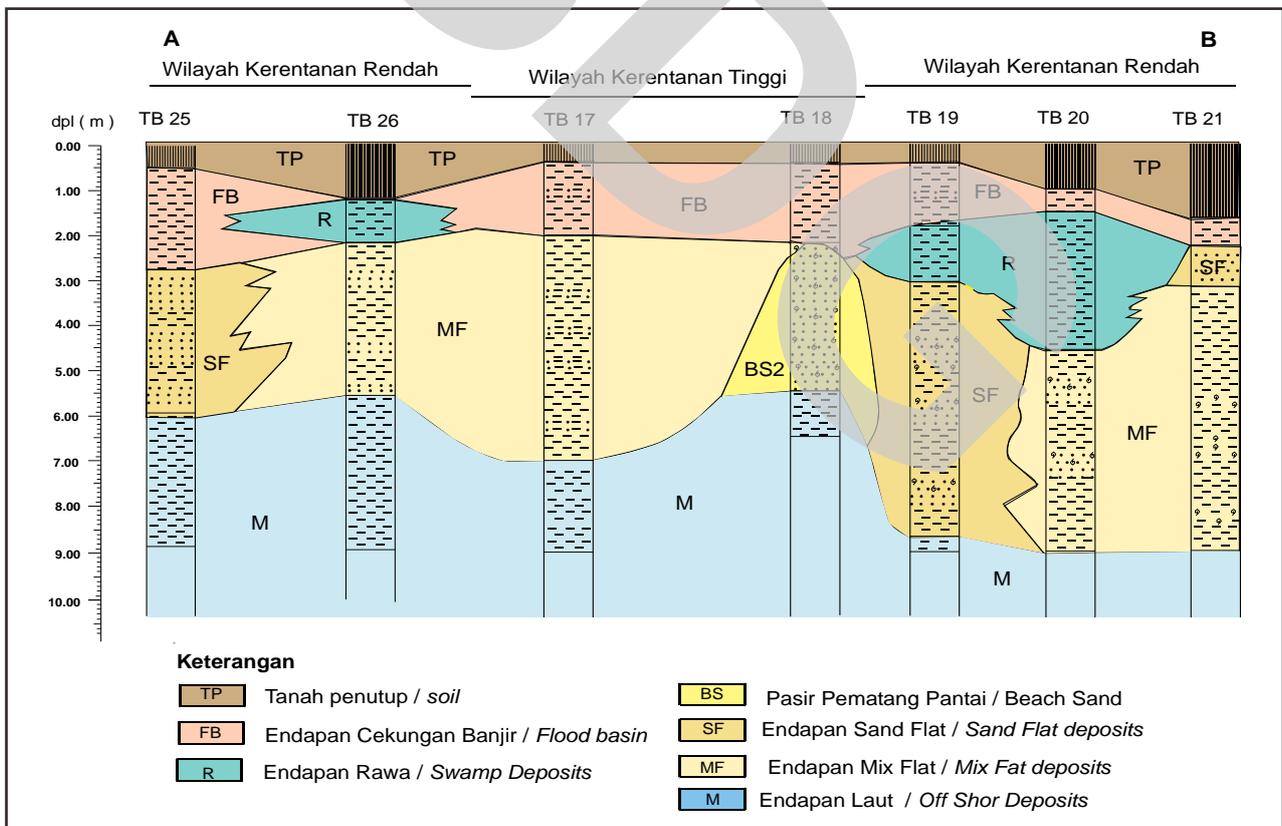


Gambar 9. Peta zonasi potensi kerentanan pelulukan daerah Losarang dan Eretan, Indramayu.

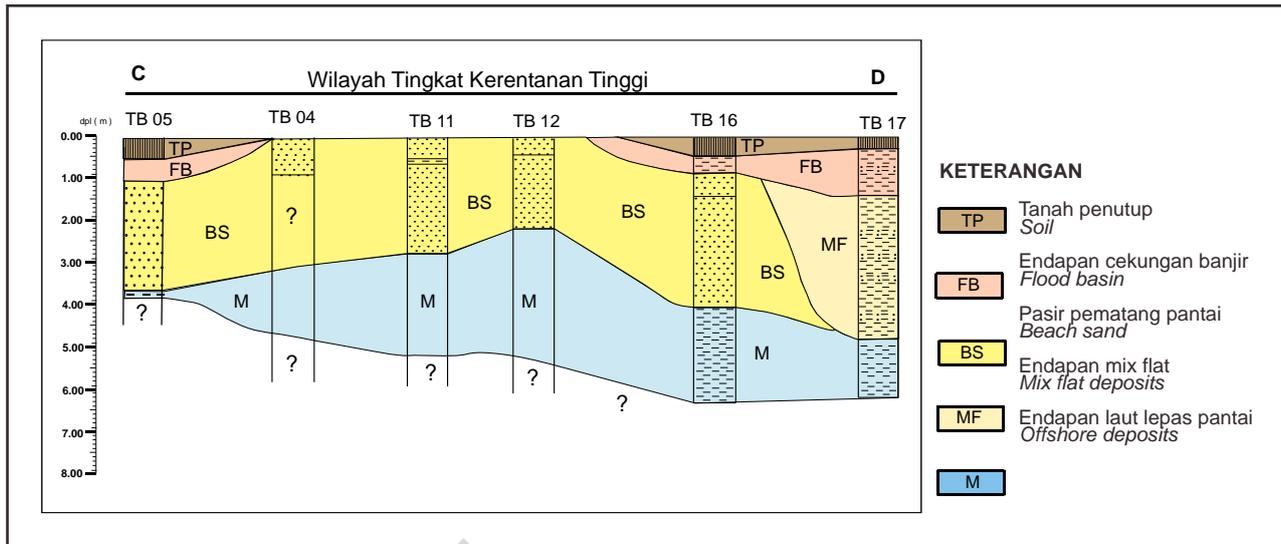




Gambar 11. Korelasi penampang pemboran memperlihatkan variasi endapan pada Wilayah Kerentanan Tingkat Tinggi dan Rendah



Gambar 12. Korelasi penampang pemboran memperlihatkan runtunan batuan pada wilayah kerentanan tingkat tinggi dan rendah



Gambar 13. Penampang korelasi yang memperlihatkan runtunan batuan pada wilayah tingkat kerentanan tinggi. C-D penampang pada pasir pematang pantai 2, M-N penampang pada pasir pematang pantai 1.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak Wahyudin yang sepenuhnya melaksanakan pemboran selama di lapangan dan, kepada seluruh tim yang telah membantu penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik. Khusus kepada bapak Yayan Sofian penulis juga mengucapkan

terimakasih atas bantuannya dalam membantu penyediaan data sekunder. Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada Soemantri Pudjoprajitno dan Herman Mulyana, atas koreksinya sehingga tulisan ini menjadi lebih baik. Akhirnya kepada Kepala Pusat Survei Geologi, penulis mengucapkan terima kasih atas izinnya untuk penerbitan makalah ini.

#### Acuan

- Achdan A. dan Sudana D., 1992. *Peta Geologi Lembar Indramayu Skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Djamal, B., 1986. Studi model fasies batupasir endapan Kuartar daerah Cilangkap, berdasarkan analisis besar butir dan analisis struktur sediment, Skripsi Jurusan Geologi Unpad, Bandung. Tidak diterbitkan
- Djuri, H.M.D., 1973. *Peta Geologi Lembar Arjawinangun, Jawa Skala 1 : 1000.000*. Direktorat Geologi Bandung.
- Lumban Batu, U.M., 2004. Kajian Potensi Bencana Pelulukan (Liquefaction) di Daerah Semarang dan Sekitarnya. *Jurnal Sumber Daya Geologi Vol. 1 No. 1. Pusat Survei Geologi Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- Lumban Batu U.M. dan Suyatman Hidayat, 2007. Evaluasi awal Kerentanan Pelulukan /Likuifaksi daerah Kendal dan sekitarnya, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol.2, No 3. Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- Masyhur Irsyam, 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia*, SNI 03-1726 – 2002, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Matti J.C, 1991. Liquefaction Susceptibility in the San Bernardino Valley and Vicinity, South California; A Regional Evaluation U.S Geological Bulletin 1898.
- Obermeier S.F., Martin J.R., Frankel A.D., Yould T.L., Munson P.J., Munson C.A., and Pond E.C., 1993. *Liquefaction Evidence for One or More Strong Holocene Earthquakes in the Wabash of Southern Indiana and Illinois, with a Preliminary Estimate of Magnitude. U.S. Geological Survey Professional Paper 1536*. United State Government Printing Office, Whashington.

- Reineck, H.E., and I.B. Singh, 1973. *Depositional Sedimentary Environment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Seed, H.B., and Idris I.M., 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential: *Proceeding of the American Society of Civil Engineering, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, v.97, no SM 9.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., and Arango, Ignatio, 1983. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol. 109, No. 3, pp. 458-482.
- Yould, T.L. and Perkin D.M., 1978. Mapping liquefaction-induced ground failure potential: *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE.*, vol. 104, no.GT4.
- Wang, 1979. <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/susceptible2.html>: Which soils are liquefaction susceptible ?

JSDG