

## NEO-SEISMOTEKTONIK SEMENANJUNG MANADO SULAWESI UTARA

*NEO-SEISMOTECTONICS OF THE MANADO PENINSULA, NORTH SULAWESI*

Oleh:

S. Poedjoprajitno

Pusat Survei Geologi  
Jln. Diponegoro, 57 Bandung

## Abstrak

Studi neo-seismotektonik Semenanjung Manado dengan menggunakan pendekatan metoda data geomorfologi, geologi dan seismisitas, diperoleh gambaran secara rinci pola struktur semenanjung dan mampu menafsirkan zona bencana kerentanan gempabumi. Pola struktur yang dimaksud adalah pengelompokan wilayah struktur semenanjung menjadi enam struktur domain, yaitu : struktur domain Amurang (A), Sopotan (S), Tondano (T), Manado, Likupang (L) dan Batuangus (BA). Didasarkan atas matrik kerentanan bencana gempabumi yang meliputi data geomorfologi, geologi, sifat fisik tanah dan batuan, indikasi tektonik, sarana prasarana, potensi bencana dan resiko, wilayah semenanjung berhasil dibagi atas tiga daerah kerentanan bencana gempabumi yakni zona kerentanan bencana gempabumi tinggi, sedang dan rendah.

Kata kunci : geomorfologi, geologi, seismisitas dan struktur

*Abstract*

*Neo-Seismotectonic study of Manado Peninsula by using approach of geomorphology, geology data method and seismicity, obtained of picture in detail peninsula structure pattern and can interpret earthquake susceptible disaster zona. Such structure pattern is area grouped of peninsula structure become six domain structure, that is : Amurang domain structure (A), Sopotan (S), Tondano (T), Manado (M), Likupang (L) and Batuangus (BA). Based on susceptible the earthquake disaster matrix covering geomorphology data, geology, ground and rock physical, tectonic indication, infrastructure, disaster potency and risk, peninsula area can divided to the three area susceptible to earthquake disaster namely high, middle and lower earthquake disaster susceptible zona..*

*Key word : geomorphology, geology, seismicity and structure*

## Pendahuluan

Neo-seismotektonik adalah studi tentang deformasi kerak bumi (menyangkut proses geologi, geomorfologi dan tektonika yang kompleks) yang terjadi saat ini dalam waktu geologi, yang dipertajam dengan kejadian gempa bumi, tektonik aktif dan individu sesar di wilayah bersangkutan. Istilah tersebut pernah diterapkan oleh Hong dan Choi (2011) untuk menyelesaikan evolusi neo-seismotektonik Semenanjung Korea. Demikian juga Sanyoto, drr (1994) menerapkan studi neo-seismotektonik di Kep Mentawai. Dalam pembahasannya Sanyoto dr. (1994) menekankan terutama pada parameter akibat, yaitu: tingkat kerusakan akibat goncangan gempa dan parameter penyebab, yaitu penjejangan sembulan koral mikro

atol. Kondisi geomorfologi, geologi maupun tektonika di kedua daerah tersebut di atas hampir semua didapatkan di daerah Semenanjung Manado, sehingga daerah ini dipilih sebagai obyek studi neo-seismotektonik.

Daerah Semenanjung Manado sangat dipengaruhi oleh gerak kedua lempeng tektonik yaitu tunjaman dari arah utara (Lempeng Sangihe) membentuk bentangalam palung laut dalam di utara Semenanjung Manado dan gerak tektonik dari arah timur (Lempeng Halmahera) membentuk zona *Molluca collision* yang diikuti sesar-sesar Sula-Sorong, Palu dan Matano (Hamilton, 1979). Pengaruh lainnya dari bertemunya kekedua lempeng tersebut adalah timbulnya aktivitas gunung api diantaranya G. Lokon (1579 m), G. Klabat (1990 m), G. Dua Bersaudara (1348 m), G. Mahawu (1328 m) dan G. Sopotan (1830 m) yang semuanya itu



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

dikategorikan gunung api aktif. Dalam kurun waktu 100 tahun daerah Manado dan sekitarnya telah dilanda lebih dari delapan kali gempabumi merusak dan juga mengakibatkan korban jiwa.

Makalah ini menyajikan hasil kajian geologi, neotektonik, morfotektonik dan seismisitas di daerah Semenanjung Manado untuk menentukan zonasi daerah bencana alam geologi. Informasi zonasi bencana ini sangat berguna untuk pembangunan wilayah, agar risiko bencana yang mungkin timbul dapat diperkecil.

Lokasi penelitian mencakup wilayah Kodya Manado dan Kabupaten Minahasa, Propinsi Sulawesi Utara. Secara geografis daerah pemetaan dibatasi oleh koordinat  $124^{\circ} 30' - 125^{\circ} 20' BT$  dan  $1^{\circ} 00' LU - 1^{\circ} 52' LU$ . (Gambar. 1).

## Metoda Penelitian

Metoda studi yang dilakukan adalah mengolah data dengan mengintegrasikan baik data geomorfologi (terutama ditekankan data morfologi tektonik), geologi serta data seismisitas. Data morfologi maupun geologi permukaan didapatkan dengan melakukan interpretasi potret udara dan citra satelit (SPOT). Hasil interpretasi tersebut diperiksa di lapangan dengan menggunakan GPS sebagai alat untuk menentukan lokasi/koordinat obyek terpilih.

Data sekunder lainnya yang menyangkut kependudukan, sarana dan prasarana ditambahkan untuk mengetahui tingkat risiko bencana di suatu wilayah. Data primer maupun sekunder yang dikumpulkan dianalisis dan dituangkan dalam bentuk laporan ilmiah termasuk di dalamnya memuat tabel, foto lapangan dan gambar.

## Litologi dan Seismisitas

Dalam studi neo-seismotektonik, peran litologi di daerah penelitian sangat penting terutama dikaitkan dengan kegiatan kegempaan. Kecepatan rambat gelombang gempa sangat dipengaruhi oleh sifat fisik batuan (Palmstrom, 1995), semakin rapat dan keras lapisan batuan semakin cepat perambatannya. Sifat fisik batuan (porositas, litifikasi, kuat tekan dan kejenuhan air) tersebut sangat berpengaruh terhadap efek amplifikasi getaran. Penjalaran gelombang getaran ini mendeformasi dengan mengubah volume pemampatan dan peregangan densitas lapisan batuan yang dilaluinya.

Lama dan Vutukuri (1978), telah menjadikan 3 kelompok besar batuan didasarkan atas tingkat kekompakannya, yaitu : batuan kompak dengan tingkat kecepatan rata-rata rambat gelombang 5 sampai 7 km/detik, batuan kurang kompak dengan tingkat kecepatan rata-rata rambat gelombang 3 sampai 4 km/detik, sedangkan yang terakhir adalah batuan yang tidak terkonsolidasi dengan tingkat kecepatan rata-rata rambat gelombang 1 km/detik.

Zhao (1999), mengklasifikan tiga kelompok besar cepat rambat gelombang P dalam satuan m/detik, didasarkan atas sifat fisik batuan (kepadatan, porositas, kekerasan, indek abrasif dan permeabilitas), klasifikasi yang dimaksud yaitu : batuan beku mempunyai nilai cepat rambat gelombang P antara 4500 – 7000 m/detik, batuan sedimen yang padat mempunyai nilai cepat rambat gelombang P 1500 – 6500 m/detik, terakhir adalah batuan sedimen mempunyai nilai cepat rambat gelombang P antara 3500 – 7500 m / detik.

Jeffrey dr., ( 2001), menunjukkan bahwa batuan sedimen klastik (terutama batulempung, serpih, dan batulanau) mempunyai nilai kecepatan hantar gelombang seismik berkisar antara 2200 - 3400 m / detik. Batuan yang mempunyai porositas tinggi, kurang terkonsolidasi dan saturasi air rendah, seperti tanah pelapukan mempunyai kecepatan lebih rendah dari 200 m / detik. Batuan semacam ini pemicu amplifikasi getaran sismik, sangat berbahaya, oleh

Tabel 1. Macam batuan di daerah penelitian diselaraskan dengan nilai kecepatan rata-rata rambat getaran pada batuan

KECEPATAN RATA -RATA GETARAN PADA BATUAN (LAMA & VUTUKURI, 1978)		RAGAM KELOMPOK BATUAN DI DAERAH PENELITIAN (EFFENDI & BAWONO, 1997)			
Batuan kompak	(km/s)	Kelompok	Batuan endapan	Batuan g api	Simbol satuan batuan
Dunit	7				
Diabas	6.5	G.Api muda	-	Lava andesit	Qv
Gabbro	6.5				
Dolomit	5,5				
Granit	5				
<b>Batuan kurang kompak</b>					
batugamping	4	Batugamping	Terumbu koral, pasiran		Ql Tml
Batusabak dan batufanau	4	Piroklastik jatuhan G.Api tua dan klastik	batufanau dan lempung	tuf	Qtv
batupasir	3		Batupasir, konglomerat	Bom, lapili	Tps Qv
<b>Batuan tidak terkonsolidasi</b>					
Aluvium	1	Endapan aluvium danau sungai	Lanau, pasir, kerikil		Qal
Loam	1		Lanau, lempung		Qs
Pasir	1				
Loess	0.5		pasir, kerikil, kerakal,		Qal Tps

sebab itu tidak disarankan digunakan sebagai tempat tinggal. Bentuklahan semacam ini banyak ditemui di daerah penelitian, contohnya adalah endapan di sekitar Danau Tondano, dan yang lepas dari pengamatan kita yaitu tumpukan material rombakan jejak longsor purba di selatan Desa Malalayang (sebelah tenggara Manado).

Bermula dari pemikiran Lama dan Vutukuri (1978), Zhao (1999) dan Jeffrey drr., (2001), jenis batuan yang ada di wilayah penelitian ini, akhirnya disederhanakan dan dikelompokan atas dasar usia pembentukannya disamping mempertimbangkan sifat fisiknya. Setiawan, drr., 2002, mengelompokan litologi di daerah penelitian dibagi menjadi 6 (enam) kelompok batuan (Gambar 2) yang kemudian oleh penulis dibandingkan dengan nilai kecepatan rata-rata getaran pada batuan segar oleh Lama dan Vuturi, 1978 dalam Palmstrom, 1995 (Tabel 1).

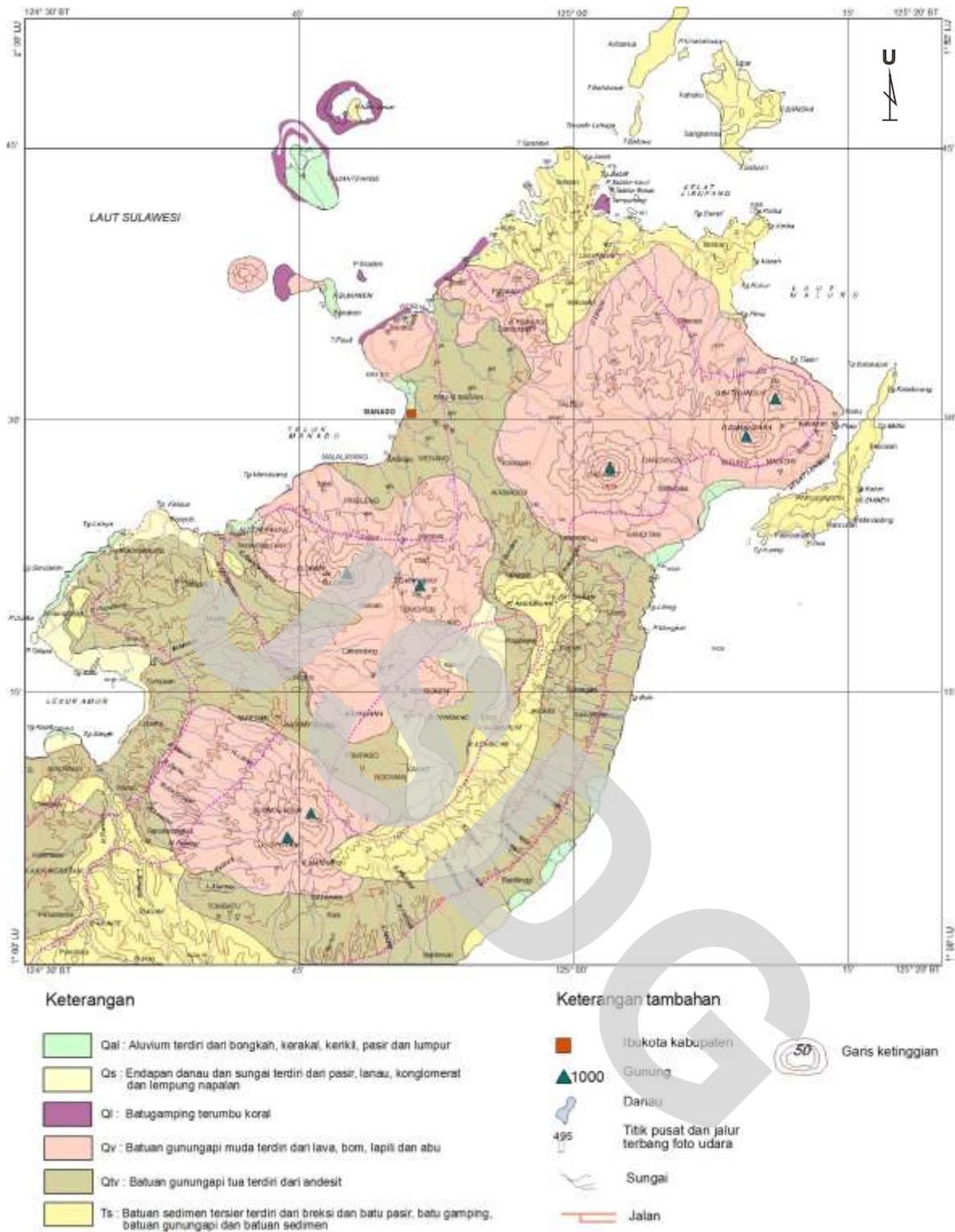
### Geomorfologi

Secara regional Verstappen (2000), dalam peta Geomorfologi Indonesia skala 1:5.000.000 membagi Semenanjung Manado menjadi 5 unit geomorfologi, yaitu: Blok pegunungan terungkit

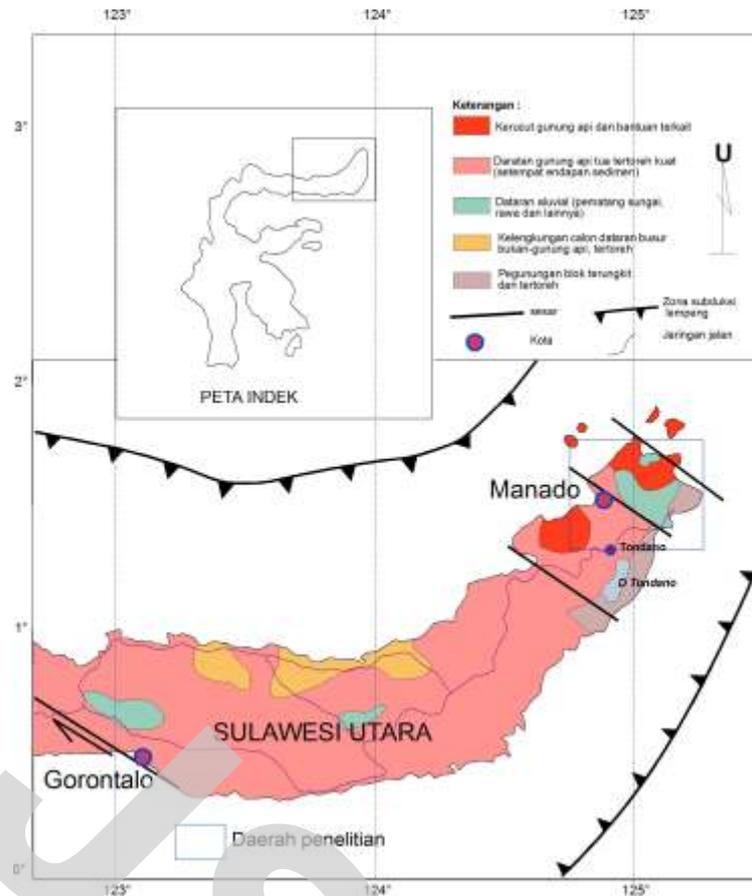
tertekeh kuat, kerucut gunung api dan relief yang terkait, daratan gunung api tua tertoreh kuat, calon dataran bukan gunung api dan dataran aluvial (Gambar 3). Beberapa sesar memotong sejajar ujung lengan utara Sulawesi Utara.

Hasil analisis indera jauh dan tinjau lapangan, geomorfologi daerah studi dapat dibedakan menjadi 9 (sembilan) bentukan asal (Gambar 4) yaitu: bentukan asal struktur (*structural origin*), gunung api (*volcanic origin*), denudasi (*denudational origin*), bentukan asal laut (*marine origin*), bentukan asal sungai (*fluvial origin*) fluvial danau (*fluvio lacustrine origin*), dan bentukan asal pelarutan (*solution origin*), bentukan asal struktur terdenudasi (*structural denudation origin*) dan bentukan asal gunung api terdenudasi (*volcanic denudation origin*). Bentukan asal tersebut merupakan bentuk utama yang masing-masing masih dapat dipisahkan menjadi bagian yang lebih khas yaitu bentuklahan (*landform*).

Ekpresi morfologi yang erat kaitannya dengan topik pembahasan adalah morfologi struktur, maka dari ke sembilan bentukan asal daerah penelitian tersebut pembahasan diutamakan pada bentukan asal struktur yang diyakini merupakan jejak pergerakan



Gambar 2. Peta sebaran batuan daerah penelitian (Setiawan, dr., 2002)



Gambar 3. Sebagian peta geomorfologi regional lengan utara Sulawesi disederhanakan dari peta geomorfologi Indonesia skala 1:5.000.000 (Verstappen 2000)

tektonik terkini. Namun demikian bentukan asal morfologi lainnya dibahas secara umum untuk membantu mengetahui keterkaitan genesanya.

#### Bentukan asal struktur (S)

Slemon dr. (1986), mengatakan bahwa penilaian terhadap potensi gempa sangat erat kaitannya antara besaran gempabumi dan parameter bentuklahan antara lain rekahan, gawir sesar, perpindahan maksimum komponen bentuklahan (bentukan asal struktur). Bentuklahan asal struktur di daerah penelitian dapat dipisahkan menjadi bentuklahan yang lebih khas berdasarkan atas temuan di lapangan berupa ragam elemen morfostruktur daerah bersangkutan, adapun penamaannya melibatkan geografi setempat. Bentuklahan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

#### Pebukitan blok sesar (*blocks faulting ridge*)

Bentuklahan ini di daerah studi diekspresikan oleh Sesar Tombatu, Sonder, Malalayang, Lantung dan sesar Tanjungmerah. Sedangkan jejak tektonik purba terekam pada morfologi Gunung Tokalambean di sebelah barat Desa Kema, Kecamatan Bitung.

#### Sesar Tombatu

Jejak sesar ini diekspresikan dari beberapa elemen morfologi struktur diantaranya adalah kolam-kolam struktur (*sagpond*) dengan arah poros kolam segaris lurus dengan arah poros utara-baratlaut dan selatan-tenggara. Kolam tersebut terbentang sepanjang kaki lereng pebukitan, mulai dari Desa Tombatu sampai di selatan Amurang. Ukuran kolam berbeda-beda dan berpola mirip jajaran genjang.

Struktur botol anggur (*wine glass structure*) ditemukan di muara Sungai Ranoiapo merupakan indikasi kelompok sesar Tombatu. Bukti lapangan



lainnya adalah runtuhannya blok-blok batuan andesit (jatuhnya batuan) sebagai debris pada gawir pegunungan yang sejajar dengan garis pantai Mobongo di pantai barat teluk Amurang. Bukti fisik struktur terkini adalah amblesnya tiang penyangga jembatan Ranoiapu di Amurang, sebagai jalan penghubung antara Kabupaten Minahasa dan Propinsi Gorontalo (lihat Gambar 5 dan 6)

#### Sesar Sonder

Eksresi elemen morfostruktur berupa gawir pantai Poopoh, lembah sempit memanjang dari Sungai Nimanga dan dataran antar bukit (*local depression*) di sekitar Dusun Tincep sampai Talikuran, Kecamatan Sonder. Bergesernya igir/punggungan Pegunungan Kaweng di Kecamatan Kakas dan pergeseran igir Bukit Potong juga merupakan eksresi morfologi struktur dikelompok ini. Elemen morfostruktur tersebut merupakan elemen morfotektonik sebagai manifestasi kejadian sesar Sonder. Sesar ini seolah-olah memisahkan daerah yang mempunyai ciri-ciri kegiatan erupsi gunung api aktif resen dan sebelumnya (purba).

#### Sesar Malalayang

Bukti morfologi struktur di kelompok sesar ini tidak sebaik jejak morfostruktur sebelumnya, namun ada beberapa hal yang khas diduga merupakan bukti alam yang menyertai gerak struktur tersebut, diantaranya : lokal plato di sekitar Kecamatan Pineleng, tepatnya di Dusun Koka dan Kembes 1. Kemudian jejak tanah longsor purba berdimensi sangat luas (*mega landslide*) dan di dalamnya bermunculan longsor-an-longsor-an berdimensi lebih

kecil yang masih aktif, dijumpai di selatan Malalayang. Pergeseran igir Bukit Pulutan di sekitar kompleks pegunungan Tokalabo merupakan salah satu eksresi morfostruktur kelompok Malalayang.

#### Sesar Lantung

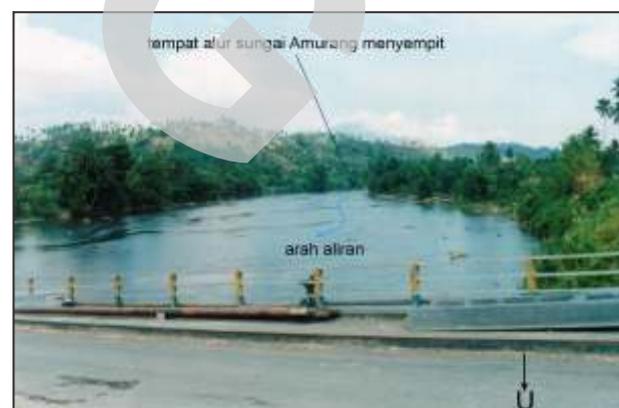
Eksresi morfostruktur di wilayah ini teridentifikasi dengan jelas pada potret udara, diantaranya Gawir sesar Kulu dan Lantung, aktif longsor di gawir sesar Kulu. Kelurusan lembah sempit Sungai Wanoki di sebelah tenggara Dusun Teep dianggap sebagai rekahan (*fracture*). Rekahan-rekahan lainnya berarah hampir tegak lurus sesar Lantung, diantaranya adalah rekahan yang dilalui Sungai Katimbun sebelah timur laut lapangan udara Manado. Segmen sesar Lantung teridentifikasi dengan baik pada citra satelit 1998 dan potret udara, seperti kelompok sesar di lereng tenggara Gunung Klabat, Gunung Tokalambean dan di Tanjung Tarabitan yang dikenal sebagai sesar Sonsilo.

#### Sesar Tanjungmerah

Analisis potret udara dan SPOT image teridentifikasi beberapa elemen morfostruktur diantaranya kelurusan lembah sempit di lereng kaki bawah bagian barat Gunung Duasaudara yang dilalui Sungai Danowudu dan bermuara di Laut Maluku. Kelurusan garis pantai diantara Dusun Manembonembo dan Tanjungmerah, kecamatan Bitung Tengah, sepanjang 2,5 km. Indikasi elemen morfostruktur lainnya adalah berkembang di lereng kaki pegunungan Marisow. Daerah rawaan ini diduga merupakan zona depresi akibat gerak-gerak mendatar di zona sesar tanjung merah, arah segmen sesar ini utara-timurlaut.



Gambar 5. Jembatan utama Amurang ambles (2002), diduga pengaruh sesar Tombatu



Gambar 6. Struktur gelas anggur (*wine glass structure*) diduga akibat pengaruh sesar penyerta yang aktif di sekitar daerah Amurang

## Bentukan asal gunung api (V)

Bentukan asal gunung api lebih mudah di-identifikasi dari pada bentukan asal lainnya sekalipun tinggal sisa jejaknya, gunung api ini meninggalkan bentuklahan yang khas. Beberapa bentukan asal gunung api erat kaitannya dengan struktur, namun demikian pengelompokannya dimasukkan ke dalam bentukan asal gunung api. Bentuklahan gunung api dapat dikelompokkan menjadi 11 buah, yaitu : Kelompok gunung api Batuangus, G. Bersaudara, G. Klabat, G. Tokalabo purba, G. Tondano purba, G. Sopotan, G. Mahawu, G. Tanuwantik dan G. Lembeh

## Bentukan asal denudasi (D)

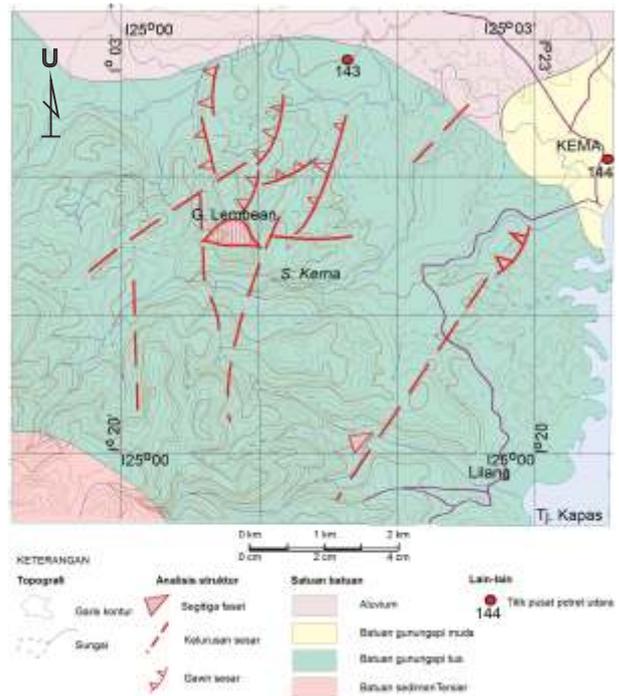
Fenomena alam dari beberapa bukit dengan pola tak beraturan tersebar di bagian utara gunung api Klabat dikelompokkan fenomena alam karya denudasi. Pebukitan tersebut adalah Bukit Makapok, Tasiyam, Kayubesi, Bulan, Toeadei, Wikau dan Toandei. Selain itu juga ada sisa kelompok gunung api tua yang terdiri atas keratan tubuh atau sisa kawah letusan purba. Sisa kelompok gunung api purba tersebut dikategorikan kelompok denudasi karena peran penting pembentuk *landform* tersebut adalah proses denudasi. Seperti halnya jejak gunung api Warisa, mempunyai pola hampir silindris atau eliptis, salah satu penciri dinding kawah dikenal sebagai bukit Loobu. Dasar kawah Gunung Warisa purba sekarang merupakan dataran yang dikelilingi tebing curam. Disamping kawah tersebut ada beberapa jejak kawah purba lainnya yang berdemensi lebih kecil. Hanya karena proses denudasi yang kuat menyebabkan pemandangan fenomena alam sekarang ini.

## Bentukan asal laut (M)

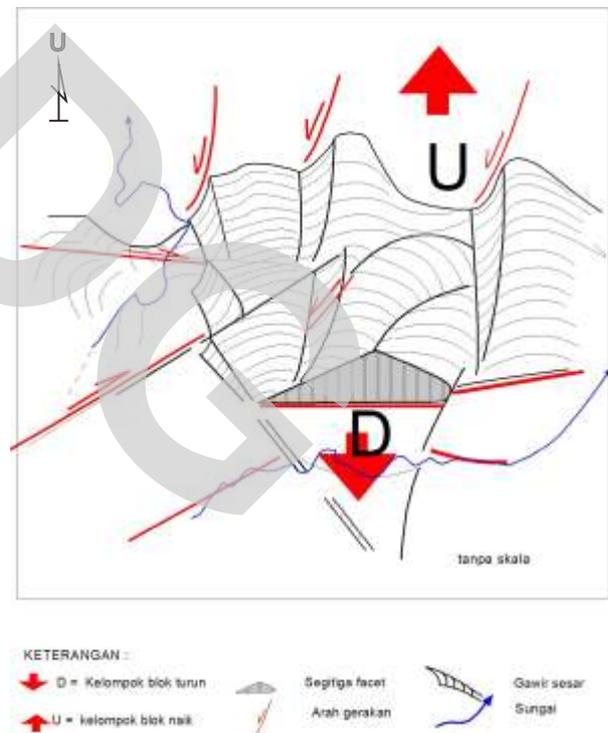
Sebaran kawasan bentukan asal laut mempunyai sebaran terbatas, diantaranya adalah rawa bakau (*mangrove swamp*), pematang pantai (*beach ridges*), pasir pantai (*beach sand*) dan undak (*terraces*) koral. Sebagai catatan: undak koral dapat dikategorikan sebagai bentukan asal laut terstrukturkan (*structural marine origin*), karena timbulnya ke permukaan diidentifikasi karena proses struktur, sebagai contohnya adalah pelabuhan Likupang dan pantai Bolong Kecamatan Wori bagian barat.

## Bentukan asal fluvial danau (FL)

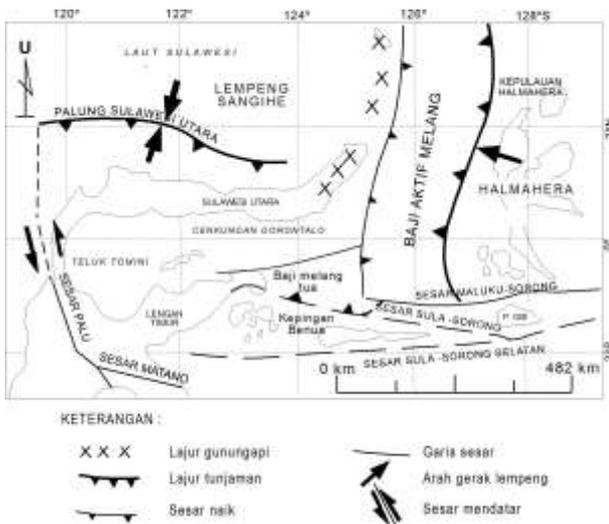
Sebaran bentuklahan ini terbatas, hanya di sekitar danau Tondano, terutama di bagian utara dan selatan.



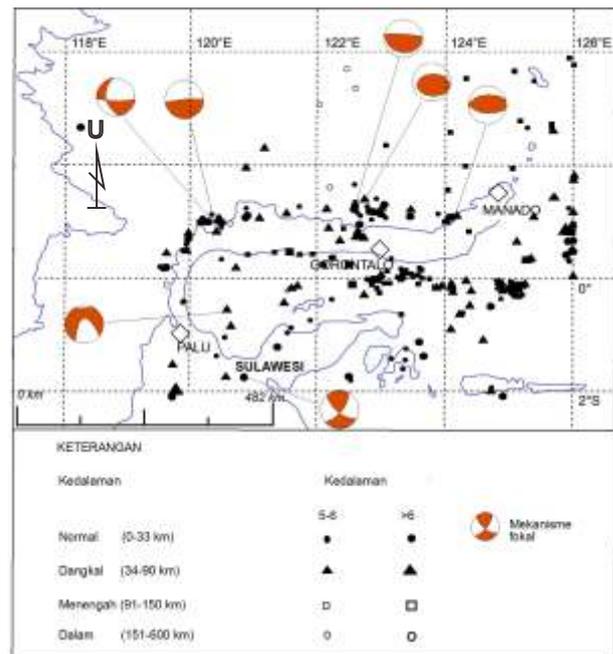
Gambar 7. Pola struktur G. Lambean (ploting hasil analisis potret udara pada peta topografi yang dikombinasikan dengan peta geologi).



Gambar 8. Sketsa sesar G. Tokalambean sebagai hasil penafsiran potret udara R 626-144.



Gambar 9. Struktur regional daerah Sulawesi, (disederhanakan dari Hamilton, 1979)



Gambar 10. Peta sebaran gempa dan mekanisme fokal Daerah Semenanjung Manado dan sekitarnya (Setiawan, Lumbanbatu dan Poedjoprajitno, 2002)

Sebagian wilayah Romboken ditempati endapan alluvial danau, disamping Kakas dan kecamatan Todano.

Bentukan asal fluvial (F)

Sebarannya sangat terbatas, hanya pada daerah berkemiringan landai dan datar, terutama di hilir sungai dan tepian alur sungai. Sebagai contoh: dataran aluvial di hilir Sungai Talawaan (Kecamatan Wori), Hilir Sungai Tondano di sekitar dusun Paalduamas-Manado, Hilir tepian Sungai Nimanga di sekitar Dusun Sulu-Minahasa dan Terakhir mendekati muara Sungai Ranopalo-Amurang.

Bentukan asal gunung api terdenudasi (VD)

Bentukan asal gunung api terdenudasi ini menempati hamper 50% daerah penelitian tersusun oleh batuan tuf, pasir tufan, tuf lapili berbatu apung, breksi dan lava. Permukaan dari satuan bentukan asal ini umumnya sudah tertoreh cukup kuat, torehan melalui rekahan-rekahan yang telah ada atau rendahnya tingkat kekerasan batuan penyusun gunung api tersebut.

Bentukan asal struktur terdenudasi (SD)

Pebukitan blok sesar tertoreh kuat teridentifikasi di lereng selatan timur Danau Tondano, di dalamnya terlihat sesar Gunung Tokalembean (Gambar 7 dan 8). Sesar tersebut menyerupai blok-blok pegunungan berdemensi lebih kecil, memotong endapan batuan yang lebih tua (Kwartir Tua – Tersier), beberapa

elemen morfotektonik seperti segitiga *facet* dan gawir sesar melewati Sungai Kema dan Sungai Lilang.

Bentukan asal pelarutan (K)

Dataran *karst* tersebar tidak merata menempati pantai Popoh antara Amurang dan Manlalayang dan pulau-pulau kecil di utara Manado. Beberapa bagian dataran karst ini di daerah Sonsilo telah mengalami pengangkatan hingga 12 meter di atas muka laut sekarang membentuk morfologi undak karst (berdemensi kecil).

Kegempaan Regional

Seperti dikatakan di muka (Hamilton, 1979) bahwa struktur regional wilayah Propinsi Sulawesi Utara sangat dipengaruhi oleh pertemuan antara lempeng Sangihe dan Halmahera (Gambar 9). Diperoleh lima lajur sumber gempabumi teltonik sangat aktif. yakni : (1) Lajur sumber gempabumi Tumbukan Lempeng Molluca, (2) Lajur sumber gempabumi Sesar Sangihe dan Tunjaman Lempeng Molluca, (3) Lajur sumber gempabumi cekungan Gorontalo dan Sesar Aktif Gorontalo, (4) Lajur sumber gempabumi Sesar Naik Parit Sulawesi Utara, (5) Lajur gempabumi Sesar Aktif Palu-Koro. Peta sebaran kegempaan wilayah Propinsi Sulawesi Utara dan sekitarnya serta mekanisme fokal diperlihatkan pada Gambar 10 (Setiawan drr 2002) .

Gempabumi merusak tahun 1936 berpusat di lajur sumber gempabumi sesar Sangihe dan tunjaman *Molluca*. Gempabumi merusak tahun 1990 berpusat di lajur sumber gempabumi Sesar Naik Parit Sulawesi Utara. Kedua guncangan gempabumi tektonik tersebut telah mengakibatkan kerusakan infrastruktur di wilayah ini dengan intensitas maksimum VII MMI. Berdasarkan sejarah gempa merusak yang tercatat pada katalog gempa merusak Indonesia dan data dari BMG didapat delapan kali gempa merusak dengan intensitas di atas V MMI (Tabel 2). Selain gempabumi tektonik wilayah ini sering pula diguncang oleh gempabumi gunung api. Beberapa gunung api aktif yang sering memperlihatkan aktifitasnya ialah G. Lokon, G. Mahawu dan G. Siau. Semua ini menunjukkan bahwa wilayah Sulawesi Utara merupakan wilayah yang harus diwaspadai sebagai wilayah rawan akan bencana gempabumi.

Tabel 2. Sejarah gempa bumi merusak daerah penelitian yang tercatat pada katalog gempa merusak Indonesia dan data BMG

No.	Daerah Lokasi	Tgl/Bl/Th	Intensitas Maksimum	Skala Richter
1	Manado	8/02/1845	VII MMI	-
2	Tondano	13/12/1858	VII MMI	-
3	Tondano 0,5°LU - 126,0°BT	14/05/1932	VII MMI	8,3
4	Gorontalo 1,4°LS - 121,65°BT	9/11/1941	VII MMI	-
5	Manado 1,05°LU - 125,65°BT	22/02/1980	VI - VII MMI	5,5
6	Gorontalo 1,12°LU - 122,48°BT	18/04/1990	VII MMI	7,0
7	Tanamon 1,10°LU - 124,10°BT	11/06/1992	VIII MMI	6,0
8	Bone 1,27°LU - 122,56°BT	25/11/1997	V-VI MMI	6,8



Gambar 11. Pola sebaran intensitas kegempaan (Setiawan, dr., 2002)

## Kegempaan Daerah Studi

Setiawan drr (2002), melakukan pengukuran gempa mikro yaitu gempa yang memiliki kekuatan kurang dari tiga skala Richter dan mengumpulkan data kegempaan dari stasiun kelas I Manado. Hasil pemantauan menunjukkan sebaran gempa mikro banyak berlokasi di sekitar Gunung Lokon, DesaTumpaan, Kawangkoan dan sekitar Danau Tondano. Beberapa gempa lokal kedalaman normal (0-33 km) terjadi di Laut Maluku, Pinagunia, Kanditan, Mokupa dan daerah sekitar Karimbow (Gambar 11). Hasil sebaran pusat gempa sebagian besar berlokasi di zona-zona sesar, dengan melihat hubungan antara pusat gempa dan pola struktur tersebut merupakan zona struktur yang aktif.

Poedjoprajitno dr. (2004), berhasil menghimpun 15 data kegempaan, diantaranya tiga buah data dalam daerah studi sedangkan 12 sisanya diluar daerah studi, namun demikian ke 12 data tersebut

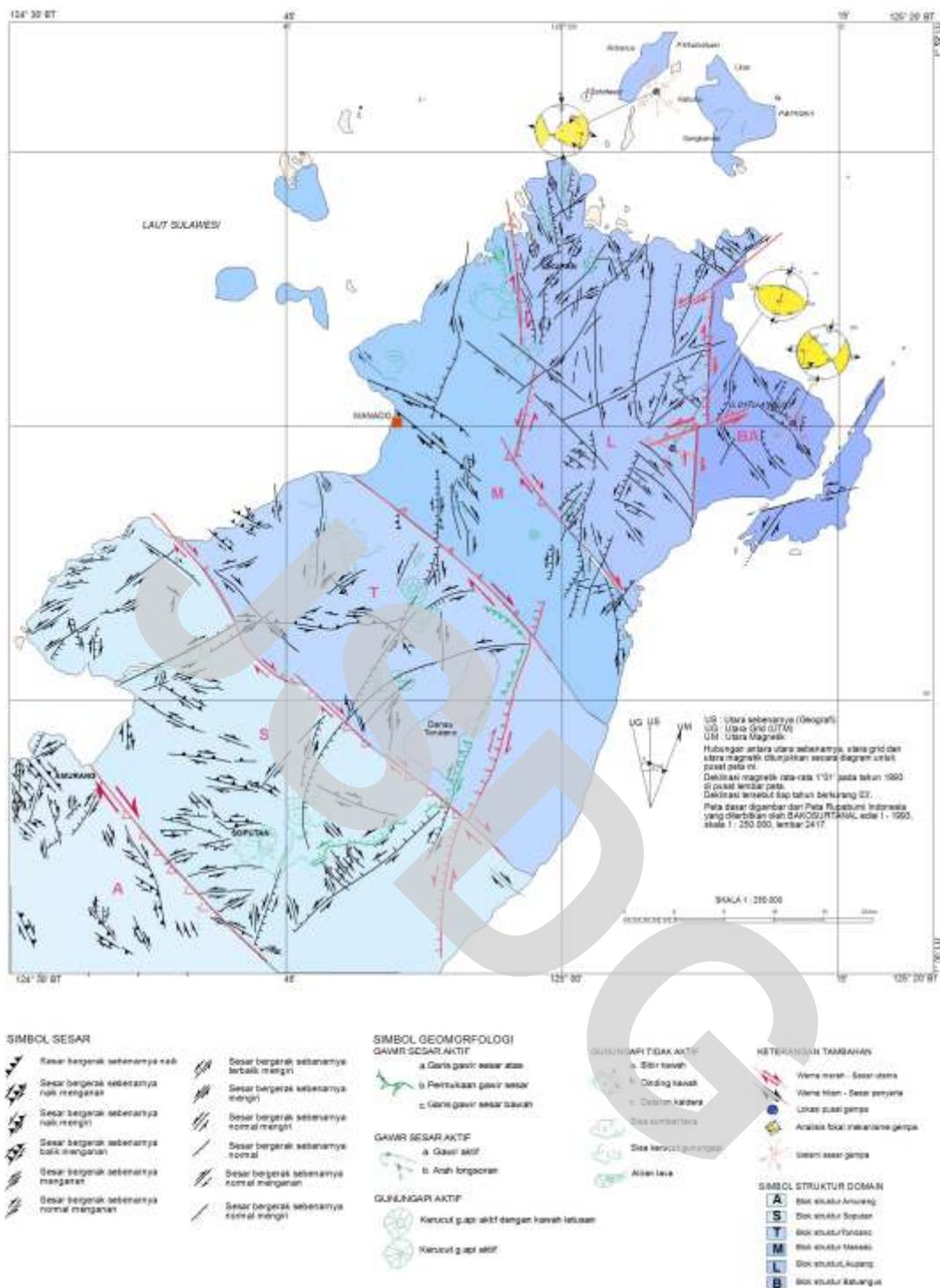
tetap dipakai guna membantu arah tegasan utamanya. Dari data seismisitas diklasifikasikan sistem sesar gempa (Tabel 3) di setiap lokasi mengacu Anderson (1951) dan Rickard (1972).

## Pola Struktur Daerah Studi

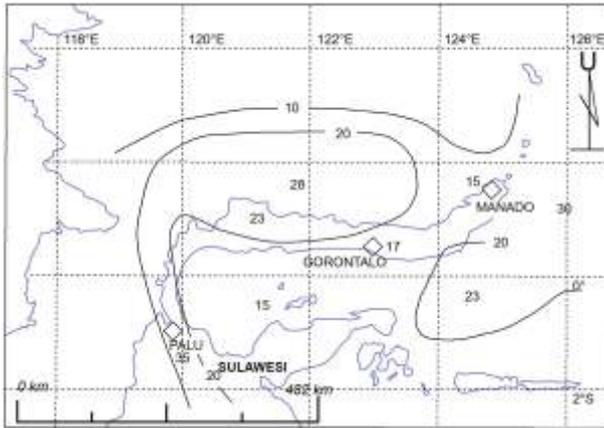
Hasil analisis data neo-seismotektonik dengan berbagai parameter yang tercakup dalam morfologi tektonik, geologi permukaan maupun seismisitas, menunjukkan daerah penelitian dapat dibagi menjadi enam zonasi struktur. Hasil ini sesuai dengan Setiawan dr. (2002) dan Poedjoprajitno (2004) yang membagi daerah studi menjadi enam blok struktur yang kemudian istilah blok direvisi menjadi *domain* dengan sedikit penyempunaan (Gambar. 12). Batas masing-masing *domain* ditandai oleh sesar-sesar utama (*main fault*), yang berupa sesar mendatar manganan, umumnya berarah barat laut tenggara, dan sebagian utara selatan. Masing-masing

Tabel 3. Klasifikasi sistim sesar gempa di daerah studi (disederhanakan dari Poedjoprajitno. S. dr. 2004)

No.	Lokasi Pusat Gempa	Struktur Utama (NP1)	Struktur Penyerta (NP2)
1	Selat Likupang	Sesar mendatar manganan ( <i>dextral wrench fault</i> )	Sesar bergerak mengiri ( <i>sinistral wrench fault</i> )
2	Selat Maluku	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
3	G. Batuangus	Sesar mendatar mengiri ( <i>sinistral wrench fault</i> )	Sesar mendatar manganan ( <i>dextral wrench fault</i> )
4	G. Duabersaudara	naik	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
5	Laut Sulawesi (utara Gorontalo)	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
6	Laut Sulawesi pantai Gorontalo	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
7	Laut Sulawesi utara Gorontalo	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
8	Laut Sulawesi pantai Gorontalo	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
9	Tenga, Kab. Minahasa	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
10	Laut Sulawesi pantai Gorontalo	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
11	Pantai laut Sulawesi	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
12	Pantai Laut Sulawesi	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )	Sesar naik ( <i>thrust fault</i> )
13	Lepas Pantai Amurang	Sesar turun ( <i>normal fault</i> )	Sesar turun ( <i>normal fault</i> )
14	Utara Likupang	Sesar mendatar manganan ( <i>dextral wrench fault</i> )	Sesar mendatar mengiri ( <i>sinistral wrench fault</i> )
15	Selat Halmahera	Sesar mendatar manganan ( <i>dextral wrench fault</i> )	Sesar mendatar mengiri ( <i>sinistral wrench fault</i> )



Gambar 12. Pola sebaran struktur sesar aktif dan pembagian struktur domain (modifikasi dari Setiawan, dr., 2002)



Gambar 13. Peta bahaya guncangan gempa bumi yang dinyatakan dengan persen (Thenhaus, 1990)

struktur *domain* mempunyai karakter khas yang mungkin tidak dipunyai oleh domain lainnya. Secara tegas setiap struktur mempunyai ciri seperti berikut di bawah ini :

- Antara struktur *domain* yang berdekatan dibatasi oleh sesar mendatar.

- Umumnya mempunyai pola struktur lokal searah pantai
- Setiap struktur *domain* memiliki pola garis pantai yang spesifik yang diekspresikan oleh sebuah teluk
- Antara struktur *domain* satu dengan lainnya ditandai oleh terbentuknya tanjung.
- Setiap blok tektonik memiliki satu erupsi gunung api aktif dengan perkembangan pola struktur memancar (radier).
- Umumnya struktur *domain* tektonik mempunyai longsoran teratur.
- Munculnya batuan tua, berkembangnya lingkungan rawa bakau, terbentuknya dataran rendah pantai, berlangsungnya perkembangan lingkungan rawa pantai dan cekungan banjir maupun rawa yang salah satunya dimiliki oleh setiap *domain* struktur.

Kreteria ke enam struktur *domain* dapat dilihat pada tabel 4 .

Tabel 4. Kreteria struktur domain (disempurnakan dari Poedjoprajitno S. dr. 2004)

NAMA DOMAIN	KEGIATAN G. API	UNSUR STRUKTUR	KARAKTERISTIK GEOMORFOLOGI TEKTONIK
<b>DOMAIN BATUANGUS (BA)</b>	G. Batuangus (erupsi celah aktif) G. Dua bersaudara (aktif)	Sesar bergerak sebenarnya Normal manganan (utama) Sesar bergerak sebenarnya <i>slip fault</i> (major)	Pergeseran punggung bukit Terban G. Api (aktif)
<b>DOMAIN LIKUPANG (L)</b>	G. Klabat (aktif) G. Api tua (post Volcanic)*	Sesar bergerak sebenarnya normal mengiri (utama) Sesar bergerak sebenarnya normal manganan (utama)	Garis pantai tidak teratur G. api (dormant)
<b>DOMAIN MANADO (M)</b>	G. Manado tua (aktif) G. Tumpa dan Dataran kaldera Warisma (post volcanik)	Sesar bergerak sebenarnya naik manganan (utama) Sesar penyerta: sesar normal, sesar bergerak Sebenarnya membalik manganan	Rawa pantai (amblesan) Lokal plateau, air terjun
<b>DOMAIN TONDANO (T)</b>	G. Api Mahawu (aktif) G. Api Lokon (erupsi aktif-resent)	Sesar bergerak sebenarnya naik manganan (utama) Sesar penyerta: sesar normal, sesar bergerak Sebenarnya membalik manganan	Danau tektonik g.api, gerakan tanah Garis pantai dibentuk oleh sesar naik manganan Lajur g.api aktif dengan dan tanpa krater
<b>DOMAIN SOPUTAN (S)</b>	G. Api Soputan (aktif) Soputan Volcano (active)	Sesar bergerak sebenarnya naik manganan (utama) Sesar penyerta: sesar normal, sesar bergerak Sebenarnya membalik mengiri dan manganan	Gerakan tanah, lajur danau sesar, struktur gelas anggur Garis pantai dibentuk oleh sesar naik manganan Lajur g.api aktif dengan dan tanpa krater
<b>DOMAIN AMURANG (A)</b>	G. Kayu keretan & Lolombutan	Sesar bergerak sebenarnya naik manganan (utama) Sesar penyerta: sesar normal, sesar bergerak Sebenarnya membalik mengiri dan manganan	Kerucut gunung api (dormant ?) Garis pantai dibentuk oleh beberapa sesar

## Bahaya Guncangan Gempa

Peta bahaya guncangan gempa (earthquake ground motions hazard map) pada batuan untuk selang waktu 50 tahun wilayah Sulawesi bagian utara dibuat dengan menggunakan data gempa dari U.S. *National Earthquake Information Service* (NEIS). Nilai bahaya guncangan gempabumi dinyatakan dalam satuan  $g$  ( $m/dt^2$ ) (Gambar. 13). Nilai tertinggi terjadi di kota Palu, karena adanya sesar aktif Palu Koro yang memiliki aktifitas seismik tinggi. Lajur sesar ini berpotensi menimbulkan gempa dengan kekuatan yang besar. Nilai terendah terjadi di kota Manado, disebabkan oleh jarak kota tersebut terhadap tiga buah sumber guncangan gempa terletak lebih jauh. Ketiga sumber guncangan gempa yang dimaksud yaitu: lajur sesar naik palung Sulawesi, lajur sumber gempabumi sesar Sangihe dan tunjaman lempeng Molluca, yang ketiganya secara relative berpotensi menimbulkan gempa dengan kekuatan rendah. Perhitungan guncangan gempa (Setiawan dr., 2002) di beberapa kota didaerah studi pada batuan untuk selang waktu 10, 25 dan 50 tahun dilihat pada table 5.

## Isoseismal

Intensitas gempabumi merupakan gambaran sejauh mana getaran gempabumi dapat dirasakan di setiap wilayah yang dilanda gempa. Intensitas diukur menggunakan skala MMI. Besarnya intensitas gempabumi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jarak pusat gempabumi, kedalaman, kekuatan serta jenis batuan yang melandasi daerah tersebut. Di daerah penelitian intensitas gempabumi dibagi 3 (tiga) wilayah MMI yaitu V, VI dan VII MMI (Gambar 14). Sebagai contoh kondisi batuan di daerah Bitung dan Kauditan yang tersusun oleh aluvium, memiliki intensitas VI MMI. Intensitas isosesmal sebesar ini akan menimbulkan amplifikasi tinggi yang memungkinkan terjadi pelulukan dan sejenisnya yang berpotensi menghancurkan budaya/pemukiman yang berada di atasnya.

## Zonasi Kerentanan Bencana Gempabumi

Setiawan dr. (2002) telah membuat peta zonasi kerentanan bencana gempabumi menjadi tiga daerah untuk mengurangi risiko yang mungkin terjadi (Gambar 15). Peta ini dibuat berdasarkan

kondisi bentang alam, keberadaan struktur sesar aktif, sifat fisik batuan, lokasi pusat gempabumi, nilai bahaya guncangan gempabumi, sebaran penduduk, infrastruktur dan fasilitas lainnya. Selanjutnya Setiawan dr. (2002), untuk kepentingan penyediaan data dasar pengembangan rekayasa keteknikan, disamping melibatkan matrik kerentanan bencana gempabumi yang meliputi geologi dan geomorfologi, sifat fisik tanah dan batuan, indikasi tektonik, parameter teknik kegempaan, sarana, potensi bencana dan resiko, mitigasi bencana, juga mensertakan perhitungan nilai percepatan bahaya guncangan gempabumi (tabel 5).

## Kesimpulan

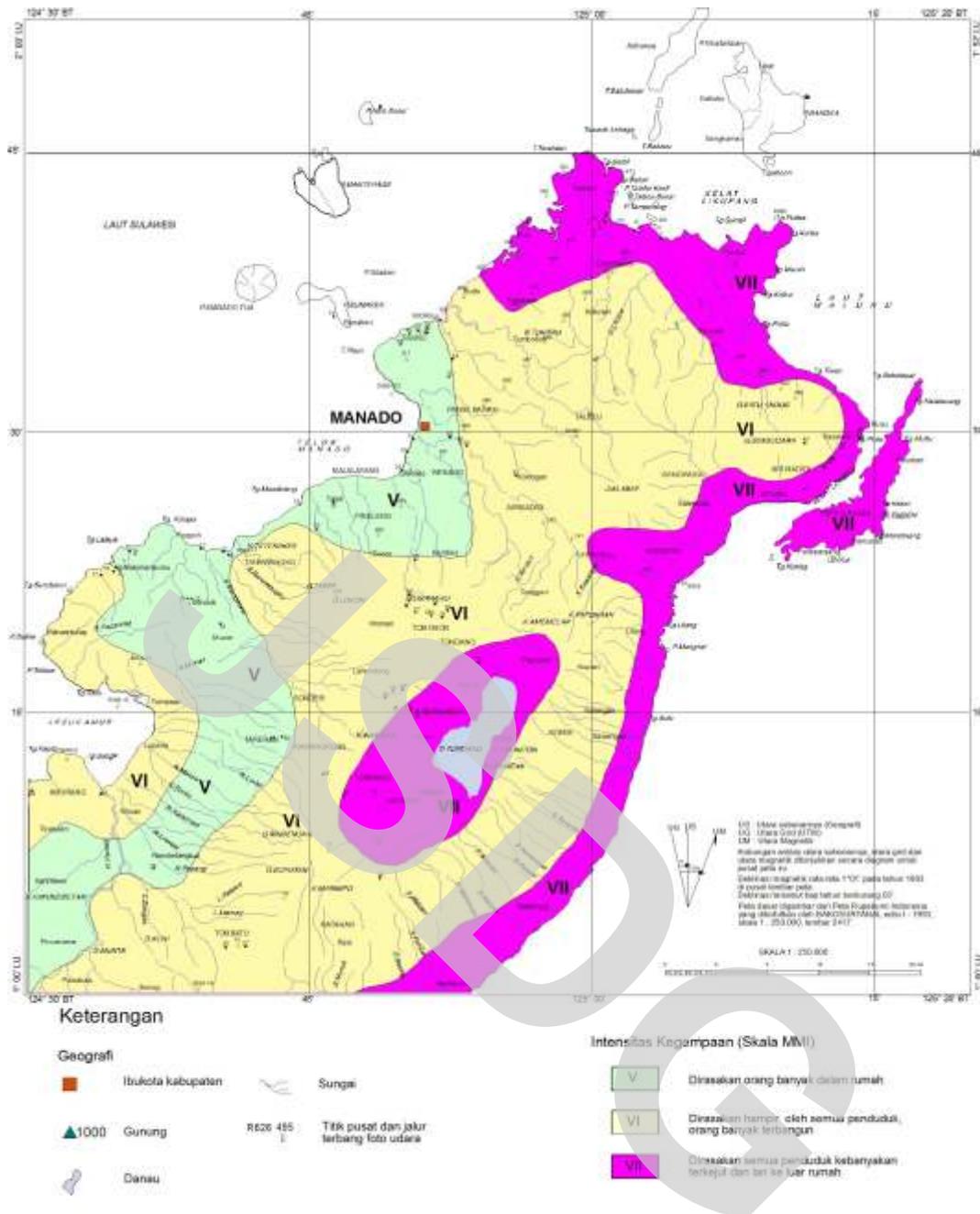
Pengembangan wilayah perkotaan maupun pemukiman di Semenanjung Manado disarankan untuk dikembangkan di pantai barat-laut dan tidak disarankan disepanjang daerah batas antar *domain*. Pengembangan pemukiman maupun perkotaan di pantai tenggara seperti Bitung, Kauditan dan Bentenan disarankan menggunakan rekayasa teknik yang tinggi.

## Ucapan terimakasih

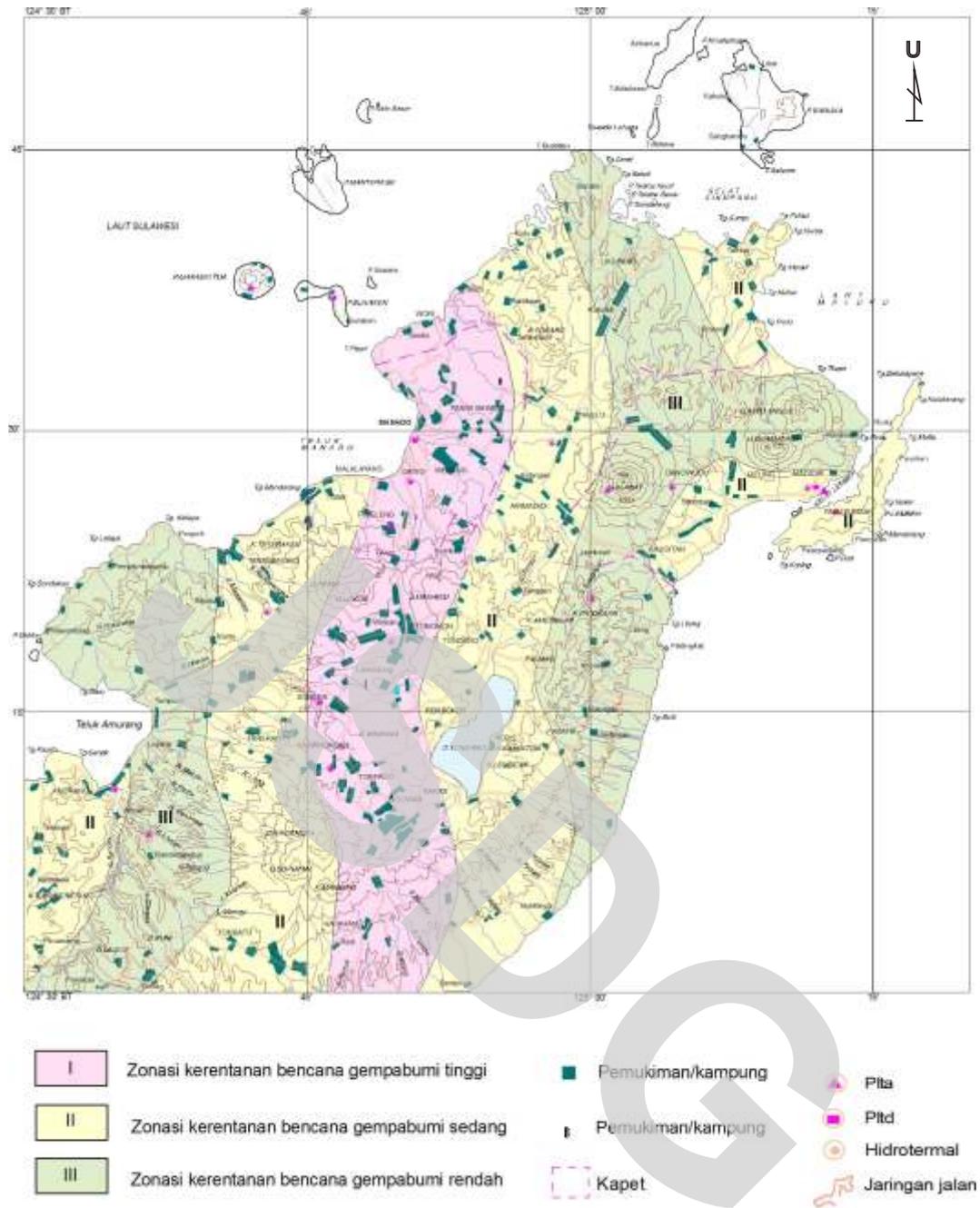
*Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tulisan ini banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, untuk itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Prof. Dr. Herman Moechtar atas arahan dan diskusi terwujudnya makalah ini, dan Prof. Dr. Udi Hartono atas arahan teknik penyusunan bahasa, serta semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.*

Tabel. 5 Perhitungan nilai bahaya guncangan gempabumi dalam satuan ( $g$ ) pada batuan untuk selang waktu 10, 25 dan 50 tahun (Setiawan J.H., dr. 2002)

Nama Kota	10 Tahun ( $g$ )	25 Tahun ( $g$ )	50 Tahun ( $g$ )
Manado	0.100	0.128	0.154
Wori	0.098	0.127	0.152
Likupang	0.102	0.130	0.155
Bitung	0.114	0.141	0.166
Tomohon	0.102	0.131	0.156
Tondano	0.101	0.104	0.157
Kakas	0.105	0.135	0.160
Langowan	0.107	0.136	0.161



Gambar 14. Peta Isoseismal Semenanjung Manado Sulawesi Utara (Setiawan, drr., 2002)



Gambar 15. Pola zonasi kerentanan bencana gempabumi (Setiawan, dr., 2002)

Acuan

- Anderson, E.M., 1951. *The Dynamic of Faulting and Dyke Formation*, with applications to Britain. Oliver and Boyd, Edinburgh, London, Second Edition Revised.
- Apandi, T., 1997. *Peta Geologi Lembar Kotamubagu, Sulawesi Utara skala 1 : 250.000*, Puslitbang Geologi.
- Bachri, S., Sukido, Ratman, N., 1991. *Geologi Lembar Tilamuta, Sulawesi Utara, skala 1 : 250.000*, Puslitbang Geologi.
- BMG, 2002. Data Base Acces Gempabumi tahun 2001, Stasiun Geofisika Manado.
- Effendi, AC., 1997. *Peta Geologi Lembar Manado Sulawesi Utara, skala 1 : 250.000*. Puslitbang Geologi.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesia Region*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1078, 345p., 1pl., scale 1 : 5.000.0000
- Hong, T., Choi, H., 2011. *Neo-seismotektonik Evolution in the Far-eastern Eurasian Plate around the Korean Peninsula*. American Geophysical Union.
- Jeffrey S. O., Crompton R., Nicholas M. H., 2001. *Characterization of volcanic units using detailed velocity analysis in the Atlantic Margin, West of Shetlands, United Kingdom*. The Leading Edge, Soc Explor Geophys
- Katili, J.A., 1997. Past and Present Geotectonics Position of Sulawesi, Indonseia. *Proceeding, Indonesian Petroleum Association, sixth annual convention, May 1997*
- Kertapati dr., 1991. Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*.
- NEIS, 2002. U.S. National Earthquake Information Centre, USGS. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>
- Palmstrom A., 1995. *A rock mass characterization system for rock engineering purposes*. Ph.D. thesis, Oslo University, Norway, 400 p.
- Poedjoprajitno, S., Lumbanbatu, U.M., Suryono, N., 2004. Dinamika Bentuklahan Semenanjung Manado Sulawesi Utara (Studi pendekatan penafsiran potret udara dan citra satelit kaitannya dengan pola struktur geologi). *Jurnal Sumber Daya Geologi*, V. 1, No1: 145-167.
- Poedjoprajitno, S., 2012. Morphostructure Control Towards the Development of Mahawu Volcanic Complex, North Sulawesi. *Jurnal Geologi Indonesia*, I. V. 7, No1: 39-53.
- Rickard, M.J., 1972. Fault Classification-Discussion. *Geol.Soc.Amer.Bull.*, V.82 (1972), 2545-2546
- Sanyoto, A., Hantoro, Wahyu S., Suyatno, Sieh, K., 1994. Neo-Seismo Tektonik Dan Variasi Permukaan Laut Di Kepulauan Mentawai (Sipora, Pagai Utara Dan Pagai Selatan), Sumatera Barat. Laporan\_Penelitian, Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI (tidak terbit)
- Setiawan, J.H., Lumbanbatu, U.M., Poedjoprajitno, S., 2002. Pemetaan Seismotektonik Daerah manado dan Sekitarnya Propinsi Sulawesi Utara. Laporan (tidak terbit)
- Slemon D.B. dan Depolo C. M., 1986. *Evaluation of Active Faulting And Associated Hazards*. CPMA, University of Nevada, 62p
- Thenhaus, P.C. Hanson, S.L., Effendi, I., Kertapati, E.K., Algermissen, S.T., 1993. Pilot Studies of Siesmic Hazard dan Risk in North Sulawesi Province, Indonesia. *Earthquake Spectra*, Vol. 9. No. 1.
- Tjia, H. D., 1991. Active tectonic in Indonesian Archipelago-2. *Proceeding Indonesia Ascociation of Geologist (IAGI) twentieth annual convention*. Dec 1991
- Zhao, J., 1999. *Rock Mechanics for Civli Engineering*. Rock Mechanic Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, Switzerland