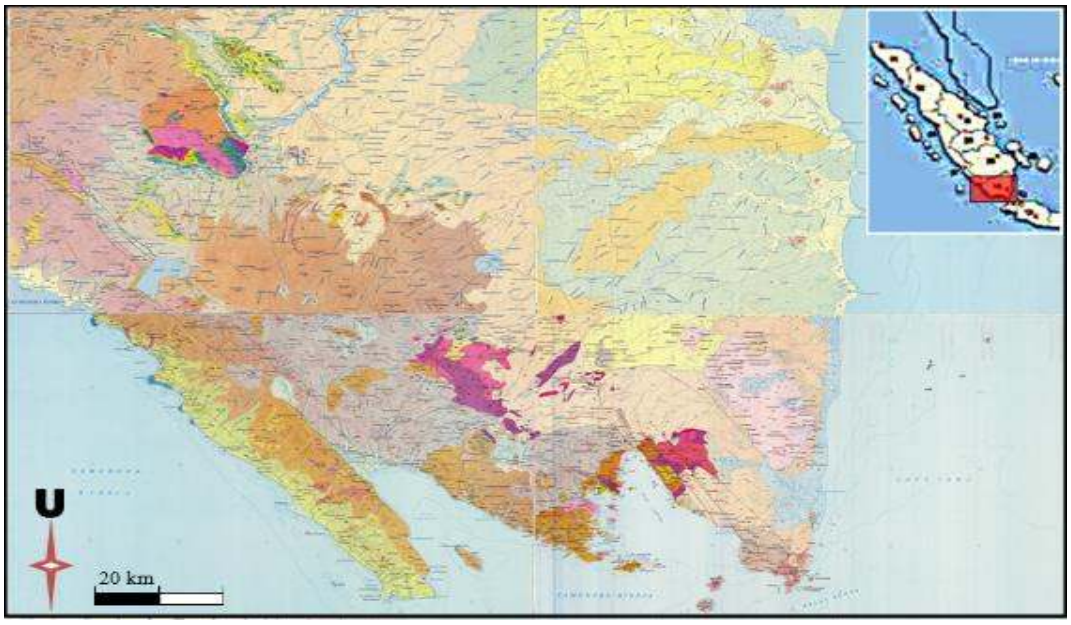
BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

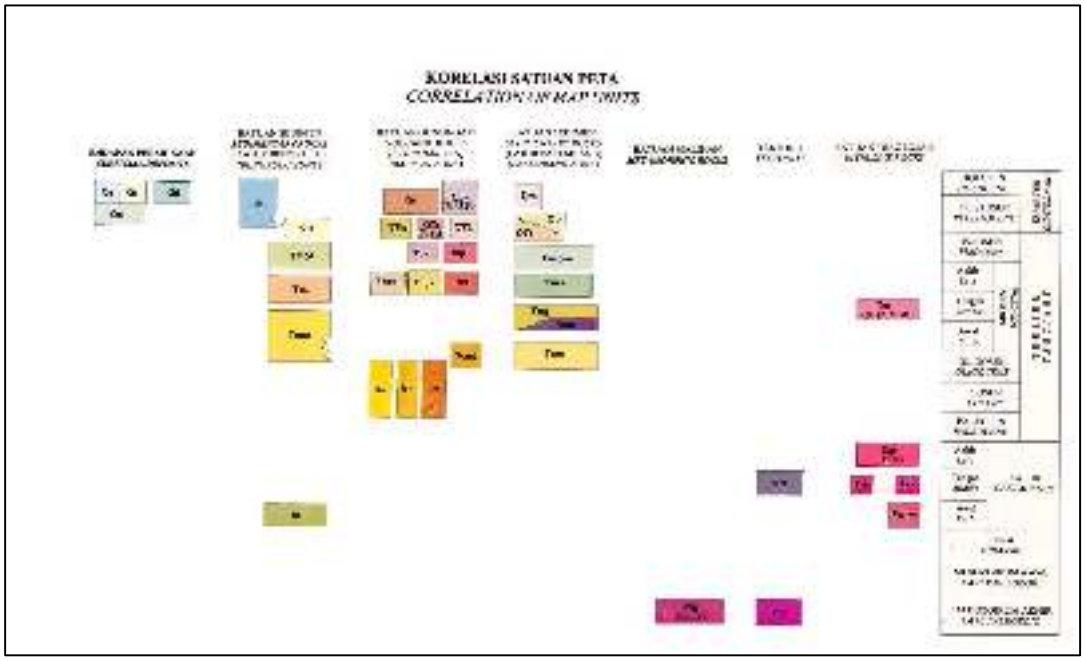
Provinsi Lampung merupakan daerah yang terdiri dari empat lembar peta diantaranya terdapat Lembar Kotagung, Lembar Tanjungkarang, Lembar Menggala, dan Lembar Baturaja, yang menurut geologi regional termasuk kedalam wilayah Sumatera Selatan. Kondisi geologi yang ada pada daerah penelitian terdapat bentukan geologi seperti dataran rendah, perbukitan yang bergelombang, dataran tinggi, daerah pegunungan, serta kerucut gunungapi. Kondisi alam pada daerah penelitian merupakan daerah yang berbukit–bukit sebagai sambungan dari jalur Bukit Barisan di Pulau Sumatera yang ada di sepanjang pantai dan berada disebelah Barat dan Selatan. Bagian tengah merupakan dataran rendah, sedangkan untuk tepian pantai disebelah Timur di sepanjang tepi Laut Jawa sampai ke Utara merupakan perarian yang luas.



Gambar 2. 1 Peta Geologi Daerah Penelitian
(Gafoer, Burhan, Amin, & Mangga, 1994)

Berdasarkan kondisi geologi dan litologi daerah penelitian susunan stratigrafi daerah Provinsi Lampung dibagi menjadi tiga kelompok bagian antara lain:

1. Kelompok Batuan yang terbentuk pada zaman Pra Tersier meliputi formasi Kelompok Gunung Kasih, Komplek Sulan dan Formasi Menanga.
2. Kelompok Batuan yang terbentuk pada zaman Tersier meliputi Formasi Kantur.
3. Kelompok Batuan yang terbentuk pada zaman Kuarter meliputi Formasi Lampung, Formasi Kasai, Basal Sukadana, Endapan Gunungapi Muda serta Aluvial.



Gambar 2. 2 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian
(Gafoer, Burhan, Amin, & Mangga, 1994)

Struktur geologi yang berada didaerah Sumatera bagian Selatan terdapat struktur sesar, lipatan seperti sinklin dan antiklin, serta struktur kekar. Struktur sesar banyak terdapat disekitar Teluk Lampung yang berada di sepanjang Pematang Kayur Beras hingga Umbulan Lengging yang rata-rata sesarnya melewati Danau Ranau. Selain itu terdapat sesar-sesar pendek yang berada didaerah sekitar Pematang Ajan, Bukit Sebonang, Pematang Baru, Pematang Angkanangkan dan Pematang Panjang, serta

hampir terdapat disemua wilayah Kotaagung. Untuk sesar terpanjang yang berada didaerah penelitian ini bernama Sesar Sumatera.

Secara geologi lembar peta Tanjungkarang tersusun dari jalur-jalur Pegunungan Barisan yang sebagian besar tertutup oleh bahan volkan muda, batuan-batuan tua yang terbenam, dataran luas yang terdiri dari endapan aliran piroklastik serta endapan aluvial dan pantai muda. Sebagian besar batuan-batuan permukaan berumur Kuarter, namun batuan-batuan tua muncul pada beberapa tempat (Junus Dai, H, Darul SWP, A, & Hidayat, H. Y, 1989).

Secara geologi lembar peta Kotagung terdiri dari dua rangkian pegunungan Bukit Barisan, diantaranya pada bagian Barat termasuk kedalam jalur rangkaian Sesar Sumatera dan terdapat juga rangkaian pegunungan Bukit Barisan yang berada di sebelah Timur. Terdapat jalur pantai yang terangkat dibagian Barat, aktivitas vulkanik yang luas dibagian tengah dan dibagian tepi Timur Pegunungan Barisan, batuan sedimen muda yang berada dibagian Timur serta batuan intrusi baik yang berada dibagian Timur maupun dibagian Barat rangkaian pegunungan (A. Hidayat, H. Darul SWP, & Junus Dai, 1989).

Secara geologi lembar peta Menggala termasuk kedalam Tersier dan Kuarter baik batuan sedimen maupun batuan vulkanik dan letaknya dekat dengan Laut Jawa. Pada lembar peta Menggala terdapat Formasi Muara Enim yang terdiri dari batupasir, batulempung, dan batubara. Terbentuknya batubara disebabkan karena adanya pengendapan awal yang terjadi di sepanjang daerah rawa dataran pantai. Pengendapan tersebut dilanjutkan ke *delta plain* yang ditandai dengan menebalnya sekuen serpih dan batupasir yang umumnya merupakan lignit.

Secara geologi lembar peta daerah Baturaja merupakan daerah laut dangkal yang memiliki kondisi air yang jernih dan hangat. Akibat adanya pergerakkan tektonik lempeng dalam waktu geologi mengakibatkan laut dangkal tersebut terekspos keluar

menjadi permukaan yang baru. Sedangkan pada bagian Sumatera yang lain terdapat bentangan Bukit Barisan hingga Baturaja.

2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Secara umum, urutan startigrafi daerah penelitian dibagi menjadi 3 bagian, antara lain Pra-Tersier, Tersier dan Kuarter. Batuan yang tersingkap saat Pra-Tersier terdiri dari runtuhan batuan metamorf derajat rendah sampai tinggi berupa sekis, *gneiss*, kuarsit, batupualam, migmatit serta batuan intrusif berupa granit dan diorit dan juga terdapat perselingan antara serpih dan batulempung dengan basal. Batuan yang tersingkap berumur Tersier terdiri dari runtuhan batuan gunungapi busur dan benua serta batuan sedimen yang diendapkan ditepi busur gunungapi yang diendapkan bersama-sama secara luas. Batuan yang tersingkap saat Kuarter terdiri dari runtuhan batuan gunungapi dan batuan sedimen serta endapan permukaan berupa aluvium, endapan rawa, dan endapan batugamping koral.

Susunan startigrafi dan karakteristik masing-masing satuan batuan di daerah penelitian dari yang tertua hingga termuda berdasarkan peta geologi Lembar Tanjungkarang, Lembar Menggala, Lembar Kotaagung dan Lembar Baturaja yang ada pada (Gambar 2.2) sebagai berikut:

1. Kompleks Gunung Kasih (Pzg)

   Satuan Kompleks Gunung Kasih merupakan satuan geologi tertua pada Lembar Tanjungkarang berupa batuan malihan (*metamorphic rocks*) yang berumur Paleozoikum Akhir. Batuan tersebut terdiri dari sekis, *gneiss*, kuarsit dan pualam yang tersingkap di reruntuhan batuan penutup Kuarter serta bersentuhan tektonik dengan sedimen kapur.

2. Formasi Tarap (Pct)

   Satuan Formasi Tarap merupakan tektonit yang berumur Paleozoikum Akhir. Pada umumnya terdiri dari filit, sekis, batusabak, kuarsit, batu tanduk, dan sedikit marmer.

3. Formasi Menanga (Km)

   Satuan Formasi Menanga merupakan batuan sedimen berumur Kapur Awal dan terlihat bersentuhan tektonik dengan sekis Kompleks Gunung Kasih. Pada umumnya merupakan perselingan antara serpih dan batu lempung dengan basal dengan sisipan rijang. Formasi Menanga termasuk kedalam Lajur Bengkulu.

4. Granodiorit Sulan (Kgdsn)

   Satuan Granodiorit Sulan merupakan batuan terobosan berumur Kapur Awal yang pada umumnya berupa granodiorit dan tonalit.

5. Granit Kalimangan (Kgk)

   Satuan Granit Kalimangan merupakan batuan terobosan berumur Kapur Tengah yang pada umumnya berupa granit, granodiorit, dan diorit.

6. Diorit Sekampung Terfoliasi (Kds)

   Satuan Diorit Sekampung Terfoliasi merupakan batuan terobosan berumur Kapur Tengah yang pada umumnya berupa diorit dan diorit kuarsa.

7. Komplek Melange (Km)

   Satuan Komplek Melange merupakan tektonit berumur Kapur Tengah yang pada umumnya terdiri dari batuan berupa bongkah-bongkah batugamping rijang, batuan andesitik, batulanau, batulempung, dan sekis yang tertanam dalam masa dasar lempung bersisik.

8. Granit Kapur (Kgr)

   Satuan Granit Kapur merupakan batuan terobosan berumur Kapur Akhir yang pada umumnya berupa granit, diorit, dan dasit.

9. Formasi Tarahan (Tpot)

   Satuan Formasi Tarahan merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Paleosen sampai Oligosen. Pada umumnya berupa *tuff* dan breksi dengan sisipan rijang. Formasi Tarahan termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

10. Formasi Campang (Tpoc)

    Satuan Formasi Campang merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Paleosen sampai Oligosen. Pada umumnya berupa perselingan batulempung, serpih, breksi, dan *tuff* padu dibagian bawah. Pada bagian atas terdiri dari breksi

aneka bahan dengan sisipan batupasir dan batulanau. Formasi Campang termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

11. Formasi Sabu (Tpos)

    Satuan Formasi Sabu merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Paleosen sampai Oligosen yang terendapkan di lingkungan fluviatil, menindih secara tak selaras dengan runtunan Pra-Tersier dan ditindih tak selaras oleh batuan gunungapi. Formasi Sabu pada umumnya berupa perselingan breksi konglomerat dengan batupasir dibagian bawahnya menjadi batu lempung tufan dan batu pasir. Formasi Sabu termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

12. Formasi Talangakar (Tomt)

    Satuan Formasi Talangakar merupakan batuan sedimen zaman Tersier yang berumur Oligosen sampai Miosen Awal. Pada umumnya berupa breksi konglomeratan, batupasir kuarsa, batupasir dengan sisipan lignit atau batubara dan batugamping. Formasi Talangakar termasuk kedalam Lajur Palembang.

13. Formasi Hulusimpang (Tomh)

    Satuan Formasi Hulusimpang merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal. Pada umumnya berupa breksi gunungapi terubah dengan batugamping, lava, *tuff* bersusunan andesitik basal, berurat kuarsa dan bermineral sulfida. Formasi Hulusimpang termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

14. Formasi Seblat (Toms)

    Satuan Formasi Seblat merupakan batuan sedimen zaman Tersier berumur Oligosen Akhir sampai Miosen Tengah. Pada umumnya berupa perselingan antara batupasir, batulanau, batulempung, batupasir tufan, serpih, umumnya gampingan dan lapisan tipis atau bintal batugamping. Formasi Seblat termasuk kedalam Lajur Bengkulu.

15. Formasi Baturaja (Tmb)

    Satuan Formasi Baturaja merupakan batuan sedimen zaman Teriser berumur Miosen Awal sampai Miosen Tengah yang pada umumnya berupa batugamping

terumbu, kalkarenit dengan sisipan serpih gampingan dan napal. Formasi Baturaja termasuk kedalam Lajur Palembang.

16. Formasi Gumai (Tmg)

    Satuan Formasi Gumai merupakan batuan sedimen zaman Tersier berumur Miosen Awal sampai Miosen Tengah yang pada umumnya berupa serpih gampingan, napal, batulanau, dan batulempung. Formasi Gumai termasuk kedalam Lajur Palembang.

17. Batuan Terobosan (Tm)

    Satuan Batuan Terobosan merupakan batuan terobosan Tersier berumur Miosen Tengah. Pada umumnya berupa granit, granodiorit, diorit, dan dasit.

18. Formasi Lemau (Tml)

    Satuan Formasi Lemau merupakan batuan sedimen zaman Tersier berumur Miosen Tengah sampai Miosen Akhir yang pada umumnya berupa batupasir tufan atau gampingan, batulempung gampingan dengan sisipan tipis atau bintal batugamping yang mengandung foram dan moluska. Formasi Lemau termasuk kedalam Lajur Bengkulu.

19. Formasi Air Benakat (Tma)

    Satuan Formasi Air Benakat merupakan batuan sedimen zaman Tersier berumur Miosen Tengah sampai Miosen Akhir yang umumnya berupa batulempung dengan sisipan batulempung tufan napal, batupasir dan serpih. Formasi Air Benakat termasuk kedalam Lajur Palembang.

20. Formasi Kantur (Tmpk)

    Satuan Formasi Kantur merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Miosen Akhir yang pada umumnya berupa perselingan antara *tuff*, batulempung karbonatan, batulanau karbonatan dan batupasir. Formasi Kantur termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

21. Formasi Surungbatang (Tmps)

    Satuan Formasi Surungbatang merupakan batuan gunungapi zaman Teriser berumur Miosen Akhir yang pada umumnya berupa tufit, breksi tufan, *tuff*

pasiran, dan *grewake*. Formasi Surungbatang termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

22. Formasi Bal (Tmba)

    Satuan Formasi Bal merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Miosen Akhir yang pada umumnya berupa breksi gunungapi bersusunan dasit, *tuff* dasitan dan sisipan batupasir. Formasi Bal termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

23. Formasi Muara Enim (Tmpm)

    Formasi Muara Enim merupakan batuan sedimen zaman Tersier yang berumur Miosen Akhir sampai Pliosen. Pada umumnya terdiri dari batulanau, batulempung, dan batupasir tufan dengan sisipan batubara. Terbentuknya batubara disebabkan karena adanya pengendapan awal yang terjadi di sepanjang daerah rawa dataran pantai. Proses pengendapan tersebut kemudian dilanjutkan ke *delta plain* yang ditandai dengan menebalnya suatu sekuen serpih dan batu pasir yang umumnya berupa lignit. Formasi Muara Enim termasuk kedalam Lajur Palembang.

24. Formasi Simpangaur (Tmps)

    Formasi Simpangaur merupakan batuan sedimen Tersier berumur Miosen Akhir sampai Pliosen. Pada umumnya berupa batulempung, breksi, batupasir tufan, batupasir mengandung moluska dan cangkang kerang dengan sisipan tipis lignit. Formasi Simpangaur termasuk kedalam Lajur Bengkulu.

25. Andesit (Tpv)

    Satuan Andesit merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Pliosen yang pada umumnya berupa lava andesit dengan kekar lembar. Satuan Andesit termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

26. Formasi Lakitan (Tmpl)

    Satuan Formasi Lakitan merupakan batuan gunungapi zaman Tersier berumur Pliosen yang pada umumnya berupa breksi gunungapi bersusunan andesit-basal, epiklastik, sedikit dasitan, *tuff*, dan batupasir tufan. Formasi Lakitan termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

27. Formasi Kasai (QTk)

    Satuan Formasi Kasai merupakan batuan sedimen berumur Plio-Plistosen yang diendapkan di lingkungan epipiroklastik terestial sampai fluviatil. Terbentuk diseluruh Lajur Palembang dan menindih secara tak selaras oleh satuan yang lebih tua. Pada umumnya berupa perselingan antara batupasir tufan dengan *tuff* batuapung, struktur silangsiut, sisipan tipis lignit dan kayu terkersikkan. Formasi Kasai termasuk kedalam Lajur Palembang.

28. Formasi Lampung (QTl)

    Satuan Formasi Lampung merupakan batuan gunungapi berumur Plio-Plistosen. Formasi Lampung ini hampir mendominasi seluruh wilayah yang ada pada Lembar Tanjungkarang pada umumnya berupa *tuff* berbatuapung, batupasir *tuff*, dibagian setempat terdapat sisipan tufit. Formasi Lampung termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan. Pada satuan tufa ini tersebar juga limonitik besi yang penyebarannya tidak merata. Beberapa tempat terdapat profil lapisan tanah yang terkupas oleh jalan, terlihat jelas lapisan limonitik dengan ketebalannya beberapa sentimeter. Dari proses aktivitas kegiatan gunungapi yang berkaitan dengan penunjaman pada lempeng Samudera Hindia, menghasilkan batuan *tuff*, lava dan breksi gunungapi yang bersusun riolitbasal. Proses dari pengendapan selama holosen menghasilkan endapan aluvium, batu gamping dan rawa.

29. Formasi Ranau (QTr)

    Satuan Formasi Ranau merupakan batuan gunungapi zaman Kuarter berumur Plio-Plistosen. Pada umumnya berupa breksi batuapung, *tuff* mikaan, *tuff* batuapung dan kayu terkersikkan. Formasi Ranau termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

30. Formasi Semung (QTse)

    Satuan Formasi Semung merupakan batuan gunungapi zaman Kuarter berumur Plio-Plistosen. Pada umumnya berupa batupasir konglomeratan, batupasir, dan batulempung. Formasi Semung termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

31. Formasi Bintunan (Qtb)

    Satuan Formasi Bintunan merupakan batuan sedimen zaman Kuarter berumur Plio-Plistosen. Pada umumnya berupa batupasir tufan, batulempung tufan, *tuff* pasiran, konglomerat aneka batuan, *tuff* berbatuapung, dan sisa tumbuhan. Formasi Bintunan termasuk kedalam Lajur Bengkulu.

32. Formasi Terbanggi (Qpt)

    Satuan Formasi Terbanggi merupakan batuan sedimen zaman Kuarter berumur Plio-Plistosen yang diendapkan di lingkungan yang terestial sampai paralik. Pada umumnya berupa batupasir dengan sisipan batulempung. Formasi Terbanggi termasuk kedalam Lajur Palembang.

33. Satuan Batugamping (Ql)

    Satuan Batugamping merupakan batuan sedimen zaman Kuarter berumur Plistosen sampai Holosen. Pada umumnya berupa batugamping terumbu, kalkarenit, dan kalsirudit. Satuan Batugamping termasuk kedalam Lajur Bengkulu.

34. Aluvium Tua (Qat)

    Satuan Aluvium Tua merupakan endapan permukaan zaman Kuarter berumur Plistosen. Pada umumnya batuan ini berupa konglomerat, kerakal, kerikil dan batupasir.

35. Batuan Gunungapi Kuarter Tua (Qv)

    Satuan Batuan Gunungapi merupakan batuan sedimen zaman Kuarter yang berumur Plistosen sampai Holosen. Pada umumnya berupa lava andesit basal, *tuff* dan breksi gunungapi. Batuan Gunungapi Kuarter Tua termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

36. Batuan Gunungapi Kuarter Muda (Qhv)

    Satuan Batuan Gunungapi Kuarter Muda merupakan batuan gunungapi zaman Kuarter yang berumur Plistosen sampai Holosen. Pada umumnya berupa breksi, lava dan *tuff* bersusunan andesit basal. Batuan Gunungapi Kuarter Muda termasuk kedalam Lajur Bukit Barisan.

37. Basal Sukadana (Qbs)

    Satuan Basal Sukadana merupakan batuan sedimen zaman Kuarter berumur Plistosen sampai Holosen. Pada umumnya berupa basal berongga. Satuan Basal Sukadana termasuk kedalam Lajur Palembang. Terkadang terdapat mineral biji bersifat magnetis. Lapukan dari batuan ini terlihat oksida besi dengan intensitas kemagnetan sedang. Pada tempat-tempat tertentu di daerah yang ditempati oleh satuan basal terdapat biji besi magnetik, dan terdapat juga gheotit.

38. Batugamping Koral (Qg)

    Satuan Batugamping Koral pada umumnya berupa batugamping koral sebagian berkeping.

39. Endapan Rawa (Qs)

    Satuan Endapan Rawa merupakan endapan permukaan yang berumur Plistosen sampai Holosen yang pada umumnya berupa lumpur, lanau, dan pasir.

40. Aluvium (Qa)

    Satuan Aluvium merupakan endapan permukaan zaman Kuarter berumur Plistosen sampai Holosen yang pada umumnya berupa kerakal, kerikil, lanau, lumpur, pasir, lempung, dan gambut. Terdapat dibagian hilir sungai dan rawa-rawa, merupakan pasir lepas yang penyebarannya sangat terbatas pada daerah bagian hilir Sungai Tanjung Iman.

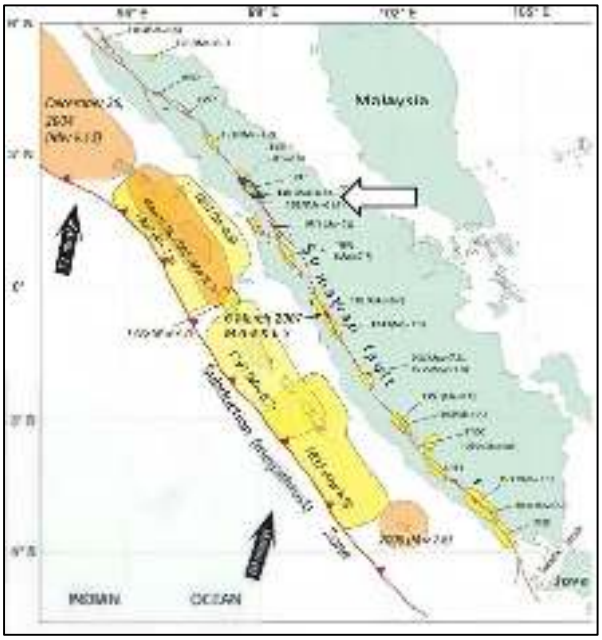
2.3 Kondisi Geologi dan Sesar Lampung

Batuan yang banyak dijumpai Provinsi Lampung merupakan batuan beku dan batuan sedimen. Batuan beku merupakan batuan yang terbentuk akibat dari proses pendinginan magma yang membeku dan mengeras atau tanpa proses kristalisasi baik di bawah permukaan, contohnya seperti batuan diorit, *tuff*, lava, breksi, dasit. Sedangkan batuan sedimen merupakan batuan yang terbentuk akibat akumulasi material hasil perombakan batuan yang sudah ada sebelumnya atau hasil dari aktivitas kimia maupun organisme yang diendapkan secara berlapis pada permukaan bumi yang kemudian mengalami pembatuan, contohnya seperti batulanau, batugamping, batupasir, batulempung, granit, dan konglomerat.

Adanya jalur pusat gempa yang berada di Laut Barat Lampung dapat menyebabkan terjadinya bencana sekunder seperti naiknya gelombang laut besar yang biasa disebut Tsunami. Wilayah Lampung merupakan daerah yang mempunyai keadaan geografis yang kompleks, dimana keberadaannya yang diapit oleh Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia serta berhadapan langsung oleh Samudera Hindia dan dilalui oleh adanya jalur Bukit Barisan.

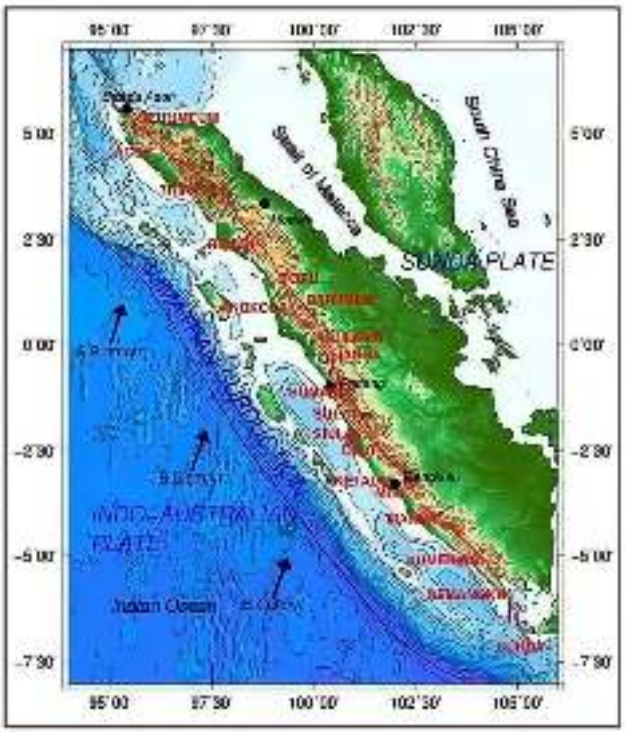
2.4 Geologi Tektonik Pulau Sumatera

Pulau Sumatera merupakan daerah yang aktif terhadap bencana gempa yang tinggi karena disepanjang bagian Laut Barat Sumatera terdapat zona subduksi akibat adanya interaksi antara Lempeng Eurasia dengan Lempeng Indo-Australia. Proses terbentuknya zona subduksi tersebut disebabkan karena Lempeng Indo-Australia mengalami penunjaman kebagian bawah Lempeng Eurasia dengan pergerakan kecepatannya rata-rata sebesar 60 mm/tahun.



Gambar 2. 3 Tatanan Tektonik Pulau Sumatera
(Bock, Y, L. Prawirodirdjo, & J. F. Genrich, 2003)

Salah satu Provinsi yang ada di Pulau Sumatera yang mempunyai aktivitas kegempaan yang tinggi diantaranya terdapat Provinsi Lampung. Adanya zona subduksi tersebut membuat suatu pusat gempa tektonik yang akan terus terjadi setiap tahunnya. Selain adanya zona subduksi, Provinsi Lampung juga terpotong dan dilewati oleh sesar besar aktif yang terbentang dari Aceh hingga Selat Sunda yang dikenal dengan sebutan Sesar Sumatera.



Gambar 2. 4 Segmen Sesar Sumatera
(Sieh, K & Natawidjaja, D, 2000)

Akibat adanya proses tumbukan antara lempeng Samudera dengan lempeng Benua, dapat membentuk suatu tiga zona gempa yang ada di Provinsi Lampung diantaranya:

1. Zona Subduksi

   Zona subduksi merupakan zona tumbukan tektonik yang terjadi antara lempeng Australia dan lempeng Asia. Proses tumbukan tersebut membuat suatu batuan

dapat meleleh dan menjadi magma gunungapi yang berada di Pulau Sumatera sampai Pulau Jawa.

2. Zona Sesar/Patahan Semangko

   Zona sesar atau patahan semangko yang berada dibagian Barat Sumatera dapat membentuk suatu danau yang ada di Pulau Sumatera, salah satunya yaitu Danau Singkrak. Selain itu akibat adanya pergeseran sesar terdapat suatu runtuhan yang dapat membentuk Lembah Suoh di wilayah Lampung Barat.

3. Sesar Kumering

   Segmen Kumering merupakan segmen yang telah melewati kawasan Danau Ranau yang terletak diperbatasan antara Provinsi Lampung dan Provinsi Sumatera. Segmen ini memiliki panjang sebesar 150 km. Salah satu sesar patahan aktif yang berada di wilayah Lampung adalah Sesar Tarahan. Sesar Tarahan menjalar ke daratan melalui daerah Tarahan, daerah Panjang, daerah Lereng Gunung Rajabasa sampai peraian Selat Sunda. Struktur sesar tersebut terbentuk akibat adanya tekanan dominan dari arah gerak vertikal, sehingga jenis sesar tersebut diperkirakan berupa sesar mendatar yang mengalami pergerakan relatif menganan (Sieh, K & Natawidjaja, D, 2000).

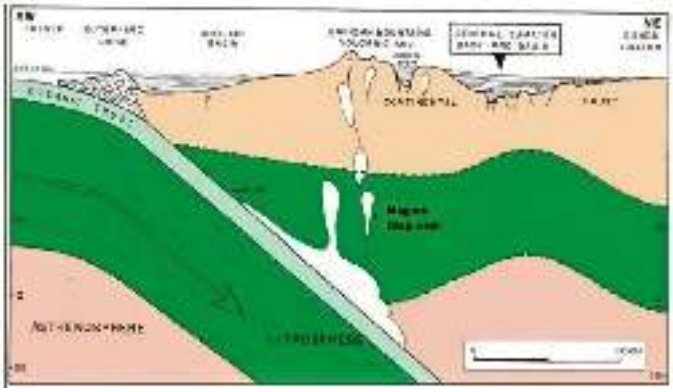
2.5 Pembentukan Sesar Sumatera

Pulau Sumatera secara geografis berada diantara batas Barat dari kawasan Sunda yang berarah Barat Laut. Keberadaan Pulau Sumatera berdekatan dengan zona subduksi batas antara lempeng Samudera Indo-Australia dengan kawasan Sunda. Proses terbentuknya zona subduksi tersebut ditandai dengan adanya sistem pegunungan Sunda (*Sunda Arc System*) aktif yang terbentang dari Burma berarah Utara hingga Selatan serta adanya lempeng Australia yang bertabrakan dengan bagian Timur Indonesia.

Zona subduksi tektonik yang ada di Pulau Sumatera mempunyai kemiringan sebesar N 20° E dengan pola berupa konvergen miring. Pola kemiringan tersebut mempunyai arti bahwa terdapat suatu resultan gaya yang menyebabkan suatu lempeng

mengalami pergerakan dan gerakan secara mendatar, baik gerakan turun maupun gerakan mendatar. Disebut gerakan turun disebabkan karena lempeng Indo-Australia menunjam lempeng Eurasia sehingga letaknya berada di bawah *Sundaland*, sedangkan gerakan mendatar disebabkan karena adanya suatu tekanan dominan yang berarah horizontal dan vertikal sehingga membentuk sesar geser yang termasuk kedalam rangkaian struktur *dextral wrenching* didalam *Sundaland*.

Rangkaian struktur sesar geser tersebut mengakibatkan terbentuknya sesar besar aktif yang dinamakan Sesar Sumatera. Proses pergeseran tersebut membentuk zona lemah sebagai tempat keluarnya aktivitas vulkanik berupa magma akibat adanya batuan yang meleleh dan kemudian membentuk jalur pegunungan barisan. Hal itu dibuktikan dengam ditemukannya sesar mendatar yang ada pada jajaran pegunungan tersebut.



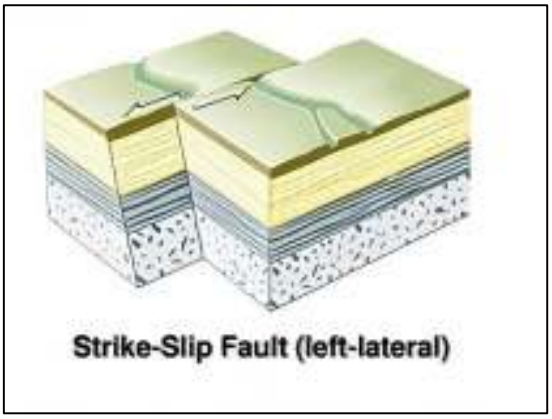
Gambar 2. 5 Penampang Melintang Memotong Pulau Sumatera Arah Barat-Timur (Kustanto, 2015)

2.6 Tipe Sesar Sumatera

Kondisi geologi yang berada di Sumatera bagian Selatan terdapat struktur geologi berupa sesar, struktur lipatan berupa antiklin dan sinklin, dan struktur kekar. Namun untuk struktur lipatan sangat jarang ditemukan pada daerah ini, hal itu disebabkan karena batuan penyusunnya yang bersifat tidak mudah terlipatkan, diantaranya seperti batuan piroklastik *tuff*, breksi, lava serta produk vulkanik lainnya.

Sesar Sumatera terbagi kedalam beberapa segmentasi patahan yang memiliki karakteristik diantaranya terletak pada panjang segmen, besarnya pergeseran baik secara tegak maupun mendatar, dilihat berdasarkan kemiringan bidang patahan, serta kinematika gerak patahan.

Sesar mendatar (*Strike Slip Fault*) merupakan sesar yang mengalami pergeseran akibat adanya tekanan berupa kompresi baik dari arah gerak horizontal maupun arah gerak vertikal. Berdasarkan prinsipnya sesar geser terbentuk akibat adanya tekanan dominan dari arah horizontal maksimum yang sama dengan tekanan horizontal minimum, dan kemudian diikuti oleh tekanan dari arah vertikal. Hal itu dapat dilihat dari konsep *principal stress* yang menyatakan bahwa $S_1 > S_2 > S_3$.

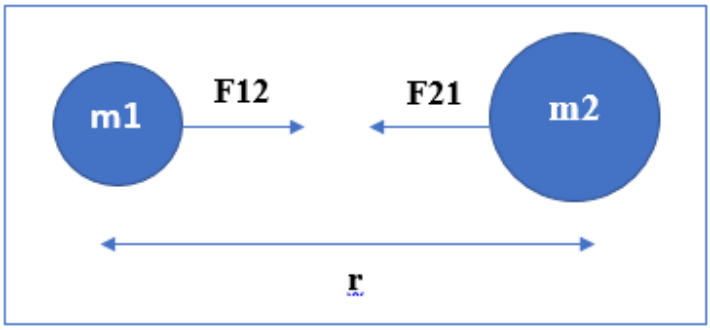


Gambar 2. 6 Sesar Mendatar *Strike-Slip*
(Kustanto, 2015)

2.7 Konsep Dasar Gayaberat

Mengenai konsep dasar gayaberat dimana terdapat hubungan antara dua buah benda bermassa yang saling tarik menarik pada suatu jarak tertentu dapat dikaji lebih jauh dengan menggunakan konsep Hukum Newton. Kedua benda bermassa tersebut diasumsikan oleh adanya massa bumi yang berinteraksi dengan massa target event. Berdasarkan Hukum Newton pertama hubungan antara massa bumi dan massa target

event yang saling tarik menarik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pusat dari kedua massa benda tersebut, hal itu dapat dilihat berdasarkan persamaan (2.1).



Gambar 2. 7 Gaya Tarik Menarik Antara Dua Buah Benda

Dari adanya konsep dasar Hukum Newton pertama dapat dirumuskan dengan:

$$F = G\ \frac{m_1.m_2}{r^2} \qquad (2.1)$$

Sedangkan pada Hukum Newton kedua menjelaskan mengenai pergerakan yang mana besarnya gaya diperoleh berdasarkan perkalian antara massa dan percepatannya

$$F = m_1 g \qquad (2.2)$$

Persamaan (2.1) dan (2.2) dapat disubtitusikan menjadi persamaan berikut:

$$g = G\ \frac{m_2}{R^2} \qquad (2.3)$$

Keterangan:

F : gaya tarik menarik antara dua buah benda (Newton)

m_1 : massa benda (kg)

m_2 : massa bumi (kg)

r : jarak (m)

G : konstanta gravitasi (6,672s x 10^{-11} Nm^2/kg^2)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

2.8 Koreksi Data Gayaberat

Faktor yang mempengaruhi besarnya gayaberat diantaranya terdapat lintang, elevasi, topografi daerah sekitar pengukuran, pasang surut bumi, dan variasi densitas di bawah permukaan (Telford, W. M, Geldart, L. P, & Sheriff, R. E, 1990). Keberadaan anomali pada eksplorasi gayaberat disebabkan oleh adanya variasi densitas yang ada di bawah permukaan. Pengolahan data gayaberat dilakukan dengan menggunakan proses reduksi berupa koreksi untuk mendapatkan hasil berupa nilai gravitasi yang hanya dipengaruhi oleh perubahan densitas di bawah permukaan. Koreksi yang digunakan saat memproses data gravitasi meliputi koreksi pasang surut (*tidal correction*), koreksi apungan (*drift correction*), koreksi lintang (*latitude correction*), koreksi udara bebas (*free air correction*), koreksi Bouguer (*Bouguer correction*), dan koreksi medan (*terrain correction*). Setelah dilakukan perhitungan koreksi maka akan diperoleh nilai anomali Bouguer lengkap (CBA) yang dapat dituliskan sebagai persamaan berikut:

$$CBA = g_{obs} - g_{teoritis} \tag{2.4}$$

$$CBA = g_{obs} - \left(g_{\Phi} - FAA + BC - TC\right) \tag{2.5}$$

$$CBA = g_{obs} - g_{\Phi} + FAA - BC + TC \tag{2.6}$$

Keterangan:

CBA : anomali Bouguer lengkap (mGal)

g_{obs} : nilai bacaan pengukuran percepatan gravitasi (mGal)

g_{Φ} : koreksi lintang (mGal)

FAA : koreksi udara bebas (mGal)

BC : koreksi Bouguer (mGal)

TC : koreksi medan (mGal)

2.8.1 Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)

Koreksi pasang surut digunakan untuk menghilangkan pengaruh gravitasi dari benda-benda luar angkasa seperti bulan dan matahari. Hal ini karena medan gravitasi di permukaan bumi dipengaruhi oleh rotasi bumi, serta harga bumi yang berada di medan gravitasi bulan dan matahari akan berubah seiring waktu. Besarnya koreksi pasang surut bumi yang disebabkan oleh bulan dan matahari pada suatu titik pengamatan pada jarak r dari pusat bumi adalah sebagai berikut (Longman, 1959):

$$g_m = \frac{GMr}{d^3}\,(3cos^3\theta - 1) + \frac{3}{2}\frac{GMr}{d^4}\,(5cos^3\theta - 3cos\theta) \qquad (2.7)$$

$$g_s = \frac{GSr}{D^3}\,(3cos^3\emptyset - 1) \qquad (2.8)$$

Dari persamaan (2.7) dan (2.8) maka besarnya koreksi pasang surut bumi total adalah sebagai berikut:

$$g_{tidal} = g_m + g_s \qquad (2.9)$$

Keterangan:

g_{tidal} : koreksi total pasang surut sebagai fungsi waktu dan lintang (mGal)

g_m : komponen tegak pasang surut bumi akibat bulan (mGal)

g_s : komponen tegak pasang surut bumi akibat matahari (mGal)

G : konstanta gravitasi (6,672 x 10^{-11} Nm^2/Kg^2)

M : massa bulan (Kg)

S : massa matahari (Kg)

r : jarak (m)

d : jarak pusat bumi dan bulan (m)

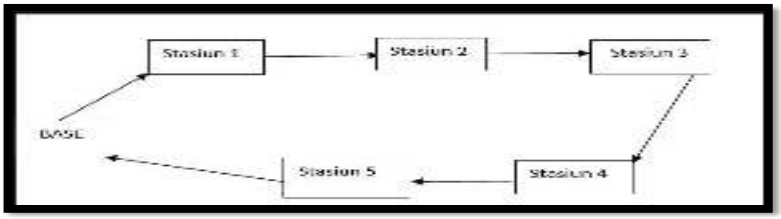
D : jarak pusat bumi dan matahari (m)

θ : sudut zenith bulan (radian)

$\emptyset$: sudut zenith matahari (radian)

2.8.2 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi *drift* atau apungan merupakan koreksi yang dilakukan karena adanya perbedaan medan gravitasi saat melakukan pengukuran pada titik yang sama dan pada waktu yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat dilihat saat dilakukannya pengukuran pada waktu pagi dan sore hari. Penyebab perbedaan dari bacaan alat tersebut disebabkan oleh faktor alat yang digunakan saat pengukuran, yang mana menggunakan sistem pegas. Adapun solusi adanya perbedaan tersebut yaitu dengan melakukan pengukuran *looping* seperti pada (Gambar 2.8) berikut:



Gambar 2. 8 Ilustrasi Skema *Looping* Tertutup

$$g_{drift} = \frac{g_{Nakhir} - g_{Nawal}}{t_{akhir} - t_{awal}} (t_{stasiun} - t_{awal}) \quad (2.10)$$

Keterangan:

g_{drift} : koreksi *drift* (mGal)

g_N : nilai gravitasi terkoreksi *tidal* (mGal)

g_{Nakhir} : harga g_N pada pengukuran stasiun terakhir (mGal)

g_{Nawal} : harga g_N pada pengukuran stasiun awal dalam satu *looping* (mGal)

t_{akhir} : waktu pengukuran stasiun akhir dalam satu *looping* (s)

t_{awal} : waktu pengukuran stasiun awal dalam satu *looping* (s)

$t_{stasiun}$: waktu pengukuran stasiun ke-n, dengan n = 1, 2, 3, … dst (s)

2.8.3 Koreksi Lintang (*Spheroid Correction)*

Bentuk bumi tidak sepenuhnya bulat dan nilai percepatan gravitasi di kutub dan di ekuator berbeda. Percepatan gravitasi di kutub 9.83 m/s^2 lebih besar dibandingkan

ekuator 9.78 m/s^2. Hal itu dipengaruhi oleh adanya jari-jari equator yang lebih besar dibandingkan jari-jari kutub. Oleh karena itu dilakukan koreksi atau pendekatan bentuk bumi berbentuk *spheroid.* Bentuk bumi berbentuk *spheroid* sehingga digunakan *spheroid* referensi sebagai pendekatan muka laut rata-rata (*geoid*), dan mengabaikan efek benda di atasnya. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya nilai koreksi lintang (ϕ) sebagai berikut:

$$g(\phi) = 978032.7(1 + 0.005304sin^2\phi - 0.0000058sin^2 2\phi) \quad (2.11)$$

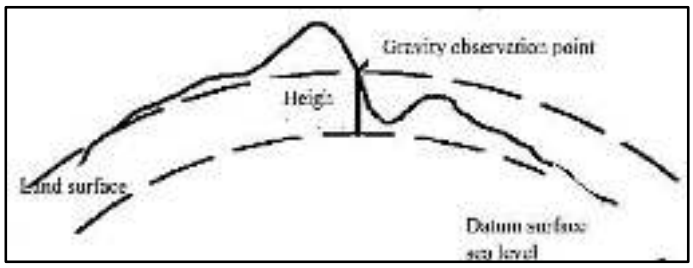
Dimana:

$g_{(\phi)}$: koreksi lintang (mGal)

ϕ : sudut lintang (radian)

2.8.4 Koreksi Udara Bebas (*Free-Air Correction*)

Koreksi udara bebas adalah koreksi yang dilakukan akibat perbedaan ketinggian antara titik pengukuran antara titik pengukuran dengan muka air laut rata-rata (*mean sea level*). Ini karena medan gravitasi normal berada dibidang referensi z = 0, dan medan gravitasi yang diukur dalam G yang berada di medan tertentu.



Gambar 2. 9 Perhitungan Nilai FAC
(Zhou, Zhong, & Li, 1990)

$$FAA = gobs - g(\phi) + 0.3086h \quad (2.12)$$

Keterangan:

FAA : koreksi udara bebas (mGal)

g_{obs} : nilai bacaan pengukuran percepatan gravitasi (mGal)

$g_{(\phi)}$: koreksi lintang (mGal)

h : elevasi (m)

2.8.5 Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi Bouguer digunakan untuk memperhitungkan efek tarikan massa yang berada di antara stasiun pengukuran dan bidang datum. Koreksi ini menganggap bahwa stasiun berada di atas dataran luas dengan ketebalan dan densitas yang sama atau disebut juga *slab* horizontal (Gambar 2.10). Pembacaan gravitasi dapat meningkat karena adanya tarikan *slab* tersebut, sehingga besarnya koreksi ini adalah:

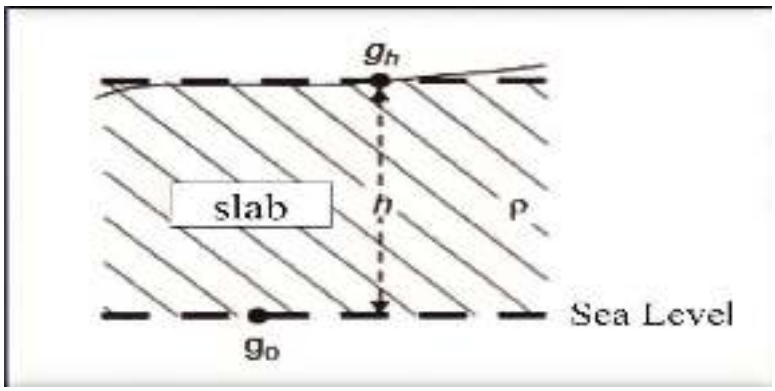
$$BC = 0.04188h\rho \qquad (2.13)$$

Keterangan:

BC : koreksi Bouguer (mGal)

h : elevasi (m)

ρ : massa jenis (gr/cm^3)



Gambar 2. 10 Koreksi Bouguer

(Reynolds, 1997)

Anomali gayaberat setelah dilakukan koreksi udara bebas dan koreksi Bouguer disebut *Simple Bouguer Anomaly* (SBA) yang didapatkan dengan persamaan berikut:

$$SBA = FAA - BC \tag{2.14}$$

2.8.6 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan atau *terrain correction* merupakan koreksi yang digunakan untuk mengkompensasi pengaruh topografi. Hal itu karena bumi mempunyai bentuk yang berundulasi seperti adanya bukit atau lembah yang berada disekitar stasiun pengukuran. Menghitung koreksi topografi dapat dilakukan dengan menggunakan *Hammer Chart* yang dikembangkan oleh Sigmund Hammer. Koreksi tersebut dilakukan dengan membagi area pengukuran menjadi beberapa zona yang kemudian dilakukan perbandingan antara topografi yang ada pada setiap segmen dengan topografi pada setiap pengukuran. Hammer melakukan pendekatan pengaruh topografi dengan sebuah diagram berupa lingkaran konsentrik dan garis radial yang terlihat pada gambar dibawah ini (Gambar 2.11). Koreksi medan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$TC = \left(\frac{2\pi G\rho}{N}\left[r_L - r_D + \sqrt{r_L^2 - z^2} - \sqrt{r_D^2 - z^2}\right]\right) \tag{2.15}$$

Keterangan:

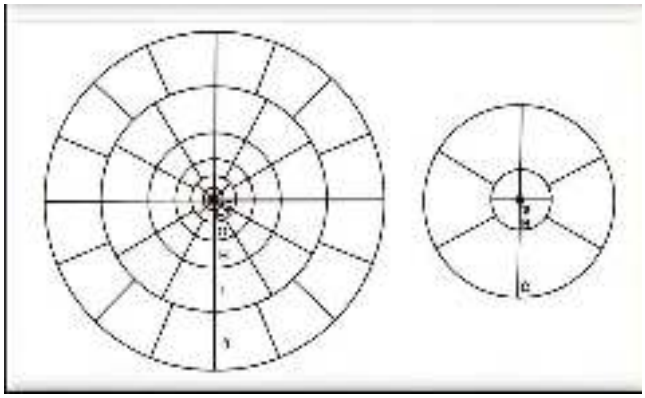
N : jumlah kompartemen pada zona yang digunakan

z : perbedaan elevasi rata-rata kompartemen dan titik pengukuran (m)

r_L : radius luar (m)

r_D : radius dalam (m)

ρ : massa jenis (gr/cm^3)



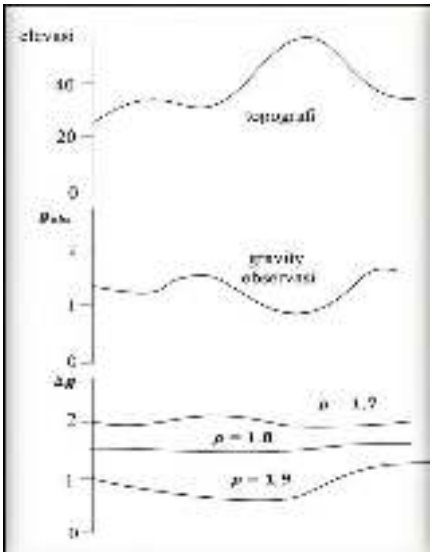
Gambar 2. 11 *Hammer Chart*
(Reynolds, 1997)

2.9 Estimasi Densitas Bawah Permukaan

Besarnya nilai percepatan gravitasi mempunyai nilai yang bervariasi, hal itu disebabkan karena adanya distribusi material dari batuan yang ada di bawah permukan bumi berasosiasi dengan struktur dan kondisi geologi yang ada di dalam bumi. Batuan sedimen mempunyai nilai densitas yang lebih rendah dibandingkan batuan metamorf dan batuan beku, karena batuan sedimen dipengaruhi oleh besarnya porositas dan fluida pengisi porositas tersebut. Adanya perbedaan densitas dari jenis batuan yang berbeda, maka dari itu perlu diketahui adanya nilai densitas rata-rata di daerah tersebut yang harus di estimasi terlebih dahulu.

2.9.1 Metode Nettleton

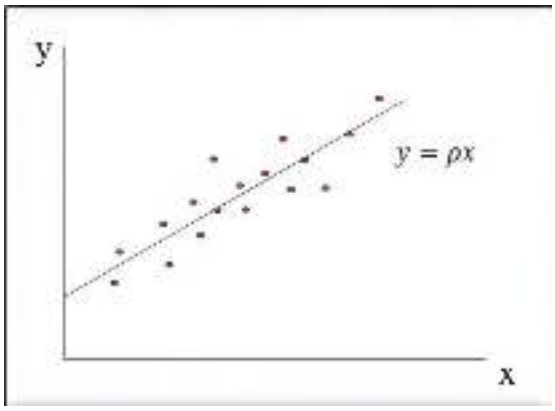
Untuk melakukan estimasi menggunakan metode Nettleton maka dapat dengan melihat perbandingan antara anomali Bouguer dengan penampang topografi. Anomali Bouguer pada suatu lintasan dengan beberapa estimasi densitas di plot terhadap nilai topografi yang ada pada lintasan tersebut. Nilai densitas diperoleh apabila nilai anomali gayaberat yang dihasilkan tidak mempunyai korelasi atau nilai terkecil dengan topografi didaerah tersebut (Gambar 2.12).



Gambar 2. 12 Estimasi Rapat Massa Dengan Metode Nettleton
(Telford, W. M, Geldart, L. P, & Sheriff, R. E, 1990)

2.9.2 Metode Parasnis

Estimasi menggunakan metode Parasnis didasari berdasarkan asumsi bahwa nilai anomali Bouguer sama dengan nol. Untuk mendapatkan nilai densitas rata-rata didapat berdasarkan gradien persamaan garis linear hasil plot selisih antara koreksi Bouguer dan koreksi *terrain* sebagai sumbu X terhadap nilai *Free Air Anomaly* (FAA) sebagai sumbu Y (Gambar 2.13).



Gambar 2. 13 Ilustrasi Estimasi Densitas Metode Parasnis

2.10 Analisis Spektral

Analisis spektral digunakan untuk membandingkan respons spektral dari berbagai proses *filtering.* Untuk dapat mengestimasikan atau memperkirakan nilai kedalaman anomali gayaberat yang terukur pada data dan memperkirakan lebar jendela (*window*) dapat dengan melakukan analisis spektral. Analisis spektral dilakukan dengan cara mentransformasikan *diskret fourier* pada lintasan yang telah ditentukan. Spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada bidang horizontal dimana transformasi Fouriernya adalah sebagai berikut (Blakely, 1995):

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \tag{2.16}$$

$$F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi\frac{e^{|k|(z_0-z')}}{|k|} \tag{2.17}$$

Keterangan:

U : potensial gayaberat (Joule)

γ : konstanta gayaberat (Nm^2/kg^2)

μ : anomali rapat massa (gr/cc)

r : jarak (m)

k : bilangan gelombang (rad/m)

Sehingga persamaan diatas menjadi:

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu\frac{e^{|k|(z_0-z')}}{|k|} \tag{2.18}$$

Transformasi Fourier anomali gayaberat dapat diamati pada bidang horizontal adalah:

$$F(g_z) = \gamma\mu F\left(\frac{\partial}{\partial z}\frac{1}{r}\right) = 2\pi\gamma\mu e^{|k|(z_0-z')} \tag{2.19}$$

Keterangan:

g_z : anomali gayaberat (mGal)

z_0 : ketinggian titik amat (m)

k : bilangan gelombang (rad/m)

z' : kedalaman benda anomali (m)

Jika distribusi rapat massa bersifat acak dan tidak memiliki korelasi antara masing-masing nilai gayaberat, maka μ = 1, sehingga hasil dari transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi:

$$A = Ce^{|k|(z_0 - z')} \tag{2.20}$$

Dengan:

A : amplitudo

C : konstanta

Untuk estimasi lebar jendela dapat dilakukan dengan menentukan lebar jendela yang akan diperlukan dalam proses pemisahan anomali regional dan residual. Untuk mendapatkan lebar jendela, spektrum amplitudo yang didapat dari transformasi Fourier dialgoritmakan sehingga menghasilkan grafik antara k dan ln A yang linear dimana komponen k menjadi berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

$$\ln A = |k|(z_0 - z') \ln C \tag{2.21}$$

Berdasarkan persamaan diatas melalui regresi linier akan didapat suatu batas antara anomali regional dan anomali residual. Nilai k pada batas tersebut diambil sebagai penentu dari lebar jendela.

$$N = \frac{2\pi}{k\Delta x} \tag{2.22}$$

$$\lambda = N\,\Delta x \tag{2.23}$$

$$N = \frac{2\pi}{k_c \, \Delta x} \qquad (2.24)$$

Keterangan:

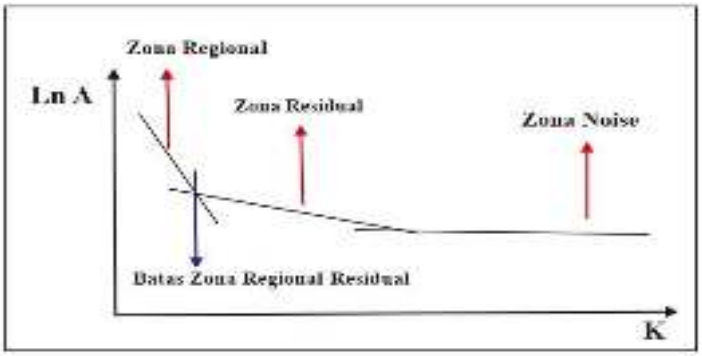
N = lebar jendela

k = bilangan gelombang (rad/m)

k_c = bilangan gelombang *cut-off* (rad/m)

Δx = spasi *grid* (m)

λ = panjang gelombang (m)



Gambar 2. 14 Kurva Pemisahan Zona Regional, Zona Residual, Dan Zona *Noise*

2.11 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Pemisahan anomali regional dan residual dapat dilakukan dengan beberapa *filter* diantaranya yaitu:

2.11.1 *Moving Average*

Moving average merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan anomali gravitasi regional pada suatu titik disepanjang profil yang ditentukan dengan cara rata-rata nilai gravitasi yang tercatat dibeberapa titik terdekat. Karakteristik dari *moving average* jika dianalisis dari hasil spektrumnya serupa dengan *low pass filter*, sehingga *output* dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali Bouger yang memperlihatkan anomali regional. Selanjutnya untuk mendapat nilai anomali residual diperoleh berdasarkan selisih antara anomali Bouger dengan anomali

regional. Secara matematis, persamaan *moving average* untuk kasus satu dimensi adalah sebagai berikut:

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n)+\cdots+\Delta g(i)+\cdots+\Delta g(i+n)}{N} \quad (2.25)$$

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (2.26)$$

Keterangan:

i = nomor stasiun

N = lebar jendela

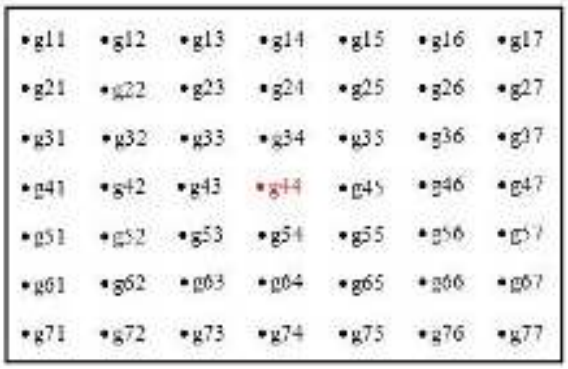
Δg_{reg} = nilai anomali regional

Δg_{res} = nilai anomali residual

Δg = nilai anomali Bouguer

Untuk *moving average* dalam kasus dua dimensi, nilai Δgr pada suatu titik dihitung dengan merata-ratakan semua nilai g dalam sebuah kotak persegi pada titik pusatnya adalah titik yang nilai Δg-nya akan dihitung. Berikut merupakan contoh penerapan *moving average* pada peta dua dimensi dengan lebar jendela 7 x 7 (Gambar 2.15).

$$\Delta g_r 44 = \frac{1}{49}(\Delta g11 + \Delta g12 + \Delta g13 + \Delta g14 + \cdots + \Delta g77) \quad (2.27)$$



Gambar 2. 15 Penerapan *Moving Average* Dengan Lebar Jendela 7 X 7

2.11.2 *Second Vertical Derivative* (SVD)

Filter SVD ini digunakan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya. Metode ini mampu untuk menunjukkan diskontinuitas struktur bawah permukaan seperti sesar atau patahan, intrusi maupun kontak batuan. Metode ini adalah turunan vertikal orde dua yang bersifat *high pass filter*. Metode ini diturunkan dari persamaan Laplace, dimana untuk anomali gayaberat di permukaan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \tag{2.28}$$

Sehingga persamaan SVD diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = 0 \tag{2.29}$$

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2}\right) \tag{2.30}$$

Untuk data penampang atau 1D, persamaannya disederhanakan menjadi:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right) \tag{2.31}$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa SVD dari suatu anomali gayaberat permukaan sama dengan negatif dari turunan orde dua horizontalnya. Data anomali gayaberat didalam *grid* teratur dapat menggunakan proses konvolusi untuk mendapatkan anomali SVD tersebut, atau dapat dituliskan menjadi:

$$\Delta g_{SVD}(\Delta x, \Delta y) \approx \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g(x, y) F(x - \Delta x, y - \Delta y) dx dy \tag{2.32}$$

dimana F merupakan *filter Second Verical Derivative* dan Δg merupakan anomali gayaberat sebagai data input.

Tabel 2. 1 Berbagai Operator Filter SVD

Henderson & Ziets (1949)				
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
-0.0838	-2.6667	+17.000	-2.6667	-0.0838
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
Elkins (1951)				
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0334	+1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
Rosenbach (1953)				
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	-0.7500	+4.0000	-0.7500	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000

Untuk menentukan jenis struktur patahan suatu daerah dapat dengan menggunakan perumusan sebagai berikut (Reynolds, 1997):

$$\left|\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2}\right|_{min} < \left|\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2}\right|_{max} \quad \text{untuk sesar normal} \quad (2.33)$$

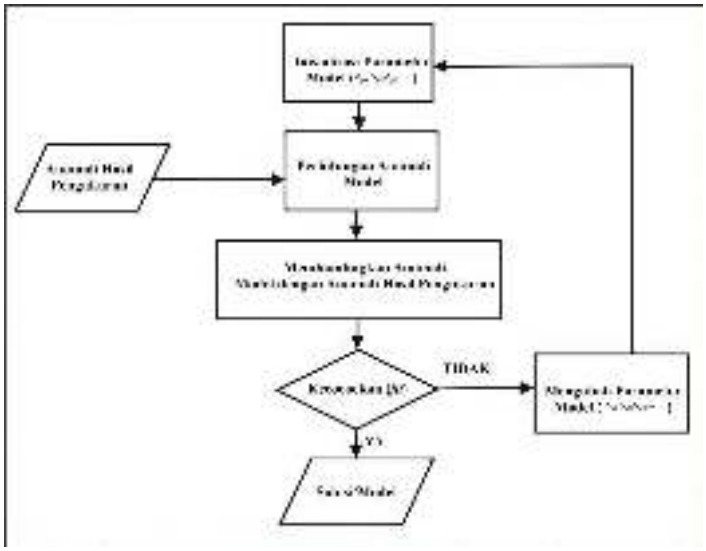
$$\left|\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2}\right|_{min} > \left|\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2}\right|_{max} \quad \text{untuk sesar naik} \quad (2.34)$$

$$\left|\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2}\right|_{min} = \left|\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2}\right|_{max} \quad \text{untuk sesar mendatar} \quad (2.35)$$

2.12 Pemodelan Kedepan (*Forward Modeling*)

Forward modeling merupakan proses perhitungan data secara teori yang teramati di permukaan bumi jika parameter model diketahui**.** Perhitungan data teoritis tersebut menggunakan persamaan matematik yang diturunkan dari konsep fisika yang mendasari fenomena yang ditinjau. Pada saat melakukan pemodelan, dicari model yang menghasilkan respon paling *fit* (cocok) dengan data pengamatan atau data lapangan. Sehingga diharapkan kondisi model tersebut dapat mewakili atau mendekati keadaan sebenarnya.

Untuk memperoleh kecocokan antara data teoritis (respon model) dengan data lapangan dapat dilakukan proses coba-coba (*trial and error*) dengan mengubah nilai parameter model (Gambar 2.16). Istilah pemodelan ke depan tidak hanya mencakup perhitungan respon model tetapi berupa proses coba-coba secara manual yang bertujuan untuk memperoleh model dengan respon yang cocok dengan data (Grandis, 2009).



Gambar 2. 16 Diagram Alir *Forward Modeling*

Persamaan Talwani (1959) dalam komponen vertikal dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$g_z = 2G\rho \oint z \, d\theta \tag{2.36}$$

Integral garis tertutup dalam persamaan (2.36) dalam komponen vertikal g_z dapat dinyatakan sebagai jumlah integral garis tiap sisinya, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut

$$g_z = 2G\rho \sum_{i=1}^{n} Z_i \tag{2.37}$$

Zi diberikan oleh persamaan berikut:

$$Z_i = a_i Sin\emptyset_i \left[(\theta_i + \theta_{i+1}) + tan\emptyset_i . ln\left\{\frac{\cos\theta_i (\tan\theta_i - \tan\emptyset_i}{\cos\theta_{i+1}(\tan\theta_{i+1} - \tan\emptyset_i}\right\}\right] \tag{2.38}$$