

LAPORAN PENELITIAN

STUDI POTENSIAL HIDROLIK PADA ZONA TIDAK JENUH DI RUMBAI FILLING STATION PT. CPI PEKAN BARU



Oleh

BIBLIOTEK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG	
TERIMA TGL. :	25-5-2000
SUMBER/MASDA :	H 1
KOLEKSI :	KL
NO. INVENTARIS :	4241/K/2000-31/21
KLASIFIKASI :	551 Har 3.1

Drs. Rusli, HAR, MT

Penelitian ini dibiayai oleh :
Dana Rutin Universitas Negeri Padang
Tahun Anggaran 1999/2000
Surat perjanjian kerja Nomor : 2751/K12/KU/Rutin/1999
Tanggal 9 Agustus 1999

**UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2000**

ABSTRAK

Hasil survey geologi yang telah dilakukan di daerah penelitian menunjukkan bahwa permukaan daerah Rumbai Filling Station-Pekanbaru, yang dibentuk oleh Formasi Minas, didominasi oleh pasir lanauan dan lempung pasiran. Dari hasil pemboran diketahui bahwa litologi pasir lanauan menebal di sebelah barat dan menipis ke arah utara dan timur. Lempung pasiran yang mengalasi litologi pasir lanauan lebih dominan di sebelah utara dan timur. Selain kedua litologi tersebut juga ditemukan pasir lempungan yang berbentuk lensa, terletak diantara pasir lanauan dan lempung pasiran. Sampling dilakukan dengan interval 1 m, dimulai dari kedalaman 1,35 m hingga 4,35 m. Hasil diskripsi *cutting* menunjukkan bahwa tanah pada kedalaman 0-1,35 m memiliki jenis yang seragam, sehingga pengukuran *matric suction* pada kedalaman 1,35 – 4,35 m didekati dengan hasil analisis regresi linier berganda yang menunjukkan hubungannya dengan parameter fisik tanah hasil uji laboratorium yang mencakup kadar air, konduktivitas hidrolis jenuh dan besar butir.

Dari hasil analisis regresi di atas diketahui bahwa kadar air, konduktivitas hidrolis jenuh dan besar butir secara simultan memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap *matric suction*. Dari hasil analisis bivariate diketahui bahwa kadar air memberikan pengaruh tunggal yang terbaik. Berdasarkan hasil tersebut, *head* total pada kedalaman 1,35 m dihitung berdasarkan hasil pengukuran *matric suction*. Untuk kedalaman 2,35 m, 3,35 m dan 4,35 m, digunakan persamaan peramal hasil analisis regresi linier berganda. Hasil perhitungan *head* total menunjukkan bahwa aliran airtanah zona tidak jenuh pada kedalaman 1,35 m, 2,35 m, dan 3,35 m, secara umum mengalir ke tenggara dan timur laut. Sedangkan pada kedalaman 4,35 m, dengan dua pola aliran airtanah. Di sebelah barat airtanah mengalir ke barat daya, selatan dan kemudian ke tenggara. Sedangkan di sebelah timur airtanah mengalir ke tenggara, selatan dan barat daya.

KATA PENGANTAR

Kegiatan penelitian merupakan bagian dari darma perguruan tinggi, di samping pendidikan dan pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan penelitian ini harus dilaksanakan oleh Universitas Negeri Padang yang dikerjakan oleh staf akademiknya ataupun tenaga fungsional lainnya dalam rangka meningkatkan mutu pendidikan, melalui peningkatan mutu staf akademik, baik sebagai dosen maupun peneliti.

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait. Oleh karena itu, peningkatan mutu tenaga akademik peneliti dan hasil penelitiannya dilakukan sesuai dengan tingkatan serta kewenangan akademik peneliti.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pendidikan, baik yang bersifat interaksi berbagai faktor yang mempengaruhi praktek kependidikan, penguasaan materi bidang studi, ataupun proses pengajaran dalam kelas yang salah satunya muncul dalam kajian ini. Hasil penelitian seperti ini jelas menambah wawasan dan pemahaman kita tentang proses pendidikan. Walaupun hasil penelitian ini mungkin masih menunjukkan beberapa kelemahan, namun kami yakin hasilnya dapat dipakai sebagai bagian dari upaya peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Kami mengharapkan di masa yang akan datang semakin banyak penelitian yang hasilnya dapat langsung diterapkan dalam peningkatan dan pengembangan teori dan praktek kependidikan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pereviu usul dan laporan penelitian Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang, yang dilakukan secara "blind reviewing". Namun demikian, karena sesuatu sebab teknis penelitian ini belum dapat diseminarkan. Sehingga masukan dari dosen senior belum dapat ditampung. Sungguhpun begitu penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi Pengembangan ilmu pada umumnya dan peningkatan mutu akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sampel penelitian, tim pereviu Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang yang menjadi pembahas penelitian. Secara khusus kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah berkenan memberi bantuan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasama yang baik ini akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.



Padang, Maret 2000

Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang,

Kumaidi
Prof. Drs. Kumaidi, MA., Ph.D.

NIP 130605231

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Manfaat Penelitian	3
D. Lokasi Penelitian	3
E. Kondisi Umum Daerah Penelitian	5
1. Morfologi	5
2. Geologi	5
3. Hidrogeologi	5
BAB II KERANGKA TEORITIS	10
A. Persamaan Umum Aliran Minyak, Air dan Gas	10
B. Persamaan Umum Aliran Air dan Udara	12
C. Tegangan Permukaan dan Gaya Kapileritas	13
D. Konsep Potensial Hidrolik	15
E. Potensial Total Air Tanah	16
F. Potensial Gravitasi	18
G. Potensial Tekanan	18
H. Hubungan Matric Suction, Konduktivitas Hidrolik Jenuh, Kadar Air dan Besar Butir	20

BAB III METODE PENELITIAN.....	21
A. Survey Tofografi, Geologi dan Hidrogeologi	21
B. Pemboran Inti	21
C. Metode Sampling.....	21
D. Pengukuran <i>Matric Suction</i> (Ψ).....	21
E. Uji laboratorium.....	21
F. Perhitungan Potensial Hidrolik	21
G. Head Suction	22
H. Head Gravitasi	22
I. Potensial Total.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
A. Hasil Pekerjaan Lapangan	23
1. Peta Geologi Permukaan	23
2. Pemboran dan Pengambilan Contoh Tanah	23
3. Litologi Hasil Pemboran	24
4. Pengukuran <i>Matric Suction</i> (Ψ).....	27
B. Uji Laboratorium	28
C. Hubungan <i>Matric Suction</i> dengan Kadar Air, Konduktivitas Hidrolik Jenuh, dan Besar Butir Pada Kedalaman 0 – 1,35 meter	32
1. Analisis Regresi Linier Berganda	32
2. Analisis Regresi Linier Sederhana (Bivariate)	33
3. Analisis Regresi Non Linier Sederhana	34
a. Hubungan <i>Matric Suction</i> Vs. Kadar Air	34
b. Hubungan <i>Matric Suction</i> Vs. Konduktivitas Hidrolik Jenuh	35
c. Hubungan <i>Matric Suction</i> Vs. Besar Butir	36

D. Perhitungan Potensial Hidrolik	42
1. Pendugaan Matric Suction	42
2. Prosedur Perhitungan	44
3. Hasil Perhitungan	45
a. Head Total Pada Kedalaman 1,35 meter	45
b. Head Total Pada Kedalaman 2,35 meter	48
c. Head Total Pada Kedalaman 3,35 meter	51
d. Head Total Pada Kedalaman 4,35 meter	54
BAB V PENUTUP	57
A. Kesimpulan	57
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	60
1. Hasil Analisis Laboratorium Untuk Besar Butir	61
2. Tabel Pngelompokan Besar Butir Berdasarkan Persentase Kelolosan Pada Saringan Standar	62
3. Tabel Statistik Untuk Uji F	63

DAFTAR TABEL

No. Tabel		halaman
4.1.	Hasil pengukuran <i>matric suction</i> di lokasi penelitian rumbai filling station PT. Caltex Pacific Indonesia, Pekanbaru - Provinsi Riau	27
4.2.	Hasil uji laboratorium untuk parameter besar butir, kadar air dan konduktivitas hidrolis jenuh	29
4.3.	Hasil analisis regresi linier berganda antara <i>matric suction</i> vs. kadar air, konduktivitas hidrolis jenuh dan besar butir pada kedalaman 0 - 1,35 meter	32
4.4.	Korelasi masing-masing variabel dari analisis regresi linier berganda antara <i>matric suction</i> vs. kadar air, konduktivitas hidrolis jenuh dan besar butir	33
4.5.	Hasil pendugaan <i>matric suction</i> sebagai fungsi kadar air, konduktivitas hidrolis jenuh dan besar butir.....	42
4.6.	Perhitungan <i>head suction</i> , <i>head</i> gravitasi dan <i>head</i> total pada kedalaman 1,35 meter	45
4.7.	Perhitungan <i>head suction</i> , <i>head</i> gravitasi dan <i>head</i> total pada kedalaman 2,35 meter.....	48
4.8.	Perhitungan <i>head suction</i> , <i>head</i> gravitasi dan <i>head</i> total pada kedalaman 3,35 meter	51
4.9.	Perhitungan <i>head suction</i> , <i>head</i> gravitasi dan <i>head</i> total pada kedalaman 4,35 meter	54

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	halaman
1.1. Peta Lokasi Penelitian	4
1.2. Peta Geologi Regional Daerah Pekanbaru, Propinsi Riau	7
1.3. Peta Hidrogeologi Daerah Propinsi Riau	8
1.4. Peta Penyebaran Muka Airtanah Dangkal Daerah Penelitian	9
3.1a. Gejala Tegangan Permukaan	14
3.1b. Hubungan Tegangan Permukaan Dengan Kapileritas	14
3.1c. Perbedaan Tinggi Kenaikan Air di Dalam Tabung Kapiler Karena Perbedaan Radius Tabung Kapiler	14
3.2a. Batas Permukaan Udara dan Air di Dalam Partikel Tanah	19
3.2b. Batas <i>Zona Saturated</i> dan <i>Unsaturated</i>	19
3.2c. Profil Kadar Air vs. Kedalaman	19
3.2d. Hubungan <i>Pressure Head</i> vs. <i>Hydraulic Head</i>	19
3.2e. Profil <i>Pressure Head</i> vs. Kedalaman	19
3.2f. Profil <i>Hydraulic Head</i> vs. Kedalaman	19
3.3. Hubungan Konduktivitas Hidrolik Dengan <i>Suction</i> Pada Tanah yang Teksturnya Berbeda	20
4.1. Peta Geologi Permukaan dan Grid Pengambilan Contoh Tanah Daerah Penelitian	25
4.2. Diagram Pagar Daerah Penelitian	26
4.3. Grafik Hubungan <i>Matric Suction</i> vs. Kadar Air Pada Kedalaman 0 - 1,35 meter	35
4.4. Grafik Hubungan <i>Matric Suction</i> vs. Konduktivitas Hidrolik Jenuh	36
4.5. Grafik Hubungan <i>Matric Suction</i> vs. Persentase <i>Very Coarse Sand</i>	37
4.6. Grafik Hubungan <i>Matric Suction</i> vs. Persentase <i>Coarse Sand</i>	38
4.7. Grafik Hubungan <i>Matric Suction</i> vs. Persentase <i>Medium Sand</i>	39
4.8. Grafik Hubungan <i>Matric Suction</i> vs. Persentase <i>Fine Sand</i>	40
4.9. Grafik Hubungan <i>Matric Suction</i> vs. Persentase <i>Silt</i> dan <i>Clay</i>	41
4.10. Peta Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 1,35 meter	46

gambar

4.11.	Bentuk Tiga Dimensi Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 1,35 m	47
4.12.	Peta Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 2,35 meter	49
4.13.	Bentuk Tiga Dimensi Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 2,35 m	50
4.14.	Peta Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 3,35 meter	52
4.15.	Bentuk Tiga Dimensi Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 3,35 m	53
4.16.	Peta Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 4,35 meter	55
4.17.	Bentuk Tiga Dimensi Penyebaran <i>Head Total</i> Pada Kedalaman 4,35 m	56

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dengan kemajuan pembangunan dan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi, kebutuhan akan air bersih untuk berbagai keperluan dirasakan semakin meningkat terutama untuk air minum, kebutuhan rumah tangga, industri, perkebunan dan lain-lain. Sumber yang dapat dimanfaatkan untuk memasok kebutuhan tersebut adalah air permukaan dan airtanah. Di sisi lain, perubahan fungsi lahan resapan menjadi kawasan industri dan pemukiman akan menimbulkan dampak negatif terhadap potensi sumber daya air disekitarnya, terutama kuantitas dan kualitas sumber daya air yang ada.

Belakangan ini, pembicaraan mengenai kelangkaan air berkembang menjadi isu nasional. Kelangkaan air ini bisa berupa tidak tersedianya air dalam jumlah yang cukup atau kualitas air yang ada sudah tidak sesuai lagi dengan peruntukannya. Peningkatan jumlah penduduk dan tarap hidup masyarakat (secara ekonomi) akan meningkatkan kebutuhan air, baik kebutuhan per kapita maupun secara keseluruhan. Sebagai akibatnya, beban yang harus ditanggung oleh sumber daya air yang ada semakin bertambah berat. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari solusi bagi pengamanan sumber daya air yang ada dan mencari potensi sumber daya air yang baru untuk kepentingan masyarakat, tetapi itu saja belum cukup, mengingat kompleksnya permasalahan dan banyaknya faktor yang mempengaruhinya.

Sebagaimana diketahui bahwa aktivitas dari suatu industri memberikan kontribusi sebagai salah satu sumber pencemaran terhadap sumber daya air (baik air permukaan maupun airtanah dalam) di suatu kawasan. Industri perminyakan misalnya, menghasilkan substansi zat pencemar yang berupa bahan kimia organik dari kelompok hidrokarbon. Senyawa kimia organik ini sebagian besar tidak dapat larut dan tidak dapat bercampur dalam air (*immiscible*).

Di bawah permukaan, senyawa organik yang digolongkan ke dalam *Nonaqueous Phase Liquids* (NAPLs) ini membentuk suatu plume kontaminan sebagai fase yang terpisah dan dapat dilihat (*visible*). Perpindahannya mengikuti pola aliran airtanah (*flow pattern*). Fase migrasi pertama pergerakannya adalah ke bawah, dipengaruhi oleh gaya gravitasi, gaya apung dan gaya kapileritas. Kontaminasi hidrokarbon yang berasal dari

bocoran tangki, jaringan perpipaan, ataupun tumpahan di permukaan, pada awalnya akan bergerak mengikuti aliran infiltrasi dan perkolasi (*Freeze dan Cherry, 1979*).

Jadi jelas, bahwa yang pertama dicemarkan oleh hidrokarbon NAPLs adalah zona tidak jenuh, kemudian merembes ke bawah permukaan hingga mencapai muka airtanah. Berdasarkan pada fenomena di atas, maka diperlukan usaha-usaha dalam menganalisa masalah pencemaran dan melestarikan lingkungan sumber daya air yang masih ada, serta mengambil tindakan preventif terhadap kerusakan sumber daya tersebut sedini mungkin.

Tertarik pada persoalan di atas, penulis mengacu kepada suatu daerah industri perminyakan yang ada di Rumbai, Pekanbaru, Propinsi Riau. Di daerah ini terdapat suatu titik sumber pencemaran (*source point*) yang berasal dari tangki penyimpanan minyak bawah tanah pada *Filling Station* milik PT. CPI (*Caltex Pacific Indonesia*). Fasilitas ini tersimpan di dalam tanah pada kedalaman kurang lebih 3 meter dari muka tanah, dengan elevasi berkisar 17 – 19 meter dari permukaan laut. Kurang lebih 100 meter di sebelah timur *Filling Station* terdapat pemukiman penduduk yang terletak pada ketinggian 8,0 – 9,50 meter dari permukaan laut. Dari survey hidrogeologi yang penulis lakukan di daerah pemukiman tersebut, didapatkan bahwa elevasi muka airtanah dangkal berfluktuasi, dengan nilai 6 – 9 meter dari permukaan laut. Hampir seluruh masyarakat di pemukiman ini menyadap airtanah dangkal untuk kebutuhan sehari-harinya seperti untuk air minum, mandi, mencuci serta kebutuhan lainnya, sedangkan selebihnya menggunakan air tadah hujan. Dengan melihat kondisi seperti di atas, tidak tertutup kemungkinan bahwa apabila sumber pencemaran ini mengalami kebocoran atau merembes, akan mencemari airtanah yang dimanfaatkan masyarakat di sekitarnya.

Berdasarkan pada kenyataan di atas, perlu dilakukan penelitian awal dan mendasar tentang sifat-sifat hidrolis airtanah yang berkaitan langsung dengan tanah tidak jenuh. Sebagai media pertama yang berperanan mengalirkan air, udara dan zat-zat kontaminan NAPLs, tanah pada zona tidak jenuh memiliki rongga pori yang menyerupai suatu tabung kapiler. Pada saat tabung kapiler tersebut terisi oleh fluida (udara dan atau airtanah), akan bekerja gaya-gaya (seperti gaya kohesi dan adhesi, gaya kapileritas dan gaya tegangan permukaan) penting yang mempengaruhi kondisi airtanah di tempat itu. Gaya-gaya tersebut menghasilkan energi potensial hidrolik

dengan bentuk dan jumlah tertentu, untuk mentransfer airtanah dari suatu zona ke zona lainnya.

Seberapa besar pengaruh energi potensial dalam pergerakan airtanah dan udara pada zona tidak jenuh, sangat tergantung pada jumlah potensial hidrolik total di zona tersebut. Hillel (1971), Kirkham dan Powers (1972), dan Young dan Warkentin (1975, p: 136-139), menerangkan bahwa potensial hidrolik total di zona tidak jenuh merupakan gabungan dari beberapa energi potensial seperti potensial gravitasi (*gravitational potential*), potensial matric (*matric potential*) dan potensial osmotik (*osmotic potential*).

Pada dasarnya, di zona tidak jenuh terjadi aliran secara simultan antara air, udara dan zat-zat pencemar. Mengingat kompleksnya permasalahan yang ada, maka penulis membatasi penelitian ini hanya pada aliran dua fase air dan udara saja. Sedangkan fase minyak sebagai fluida yang *immiscible* tidak dibahas.

B. Tujuan Penelitian

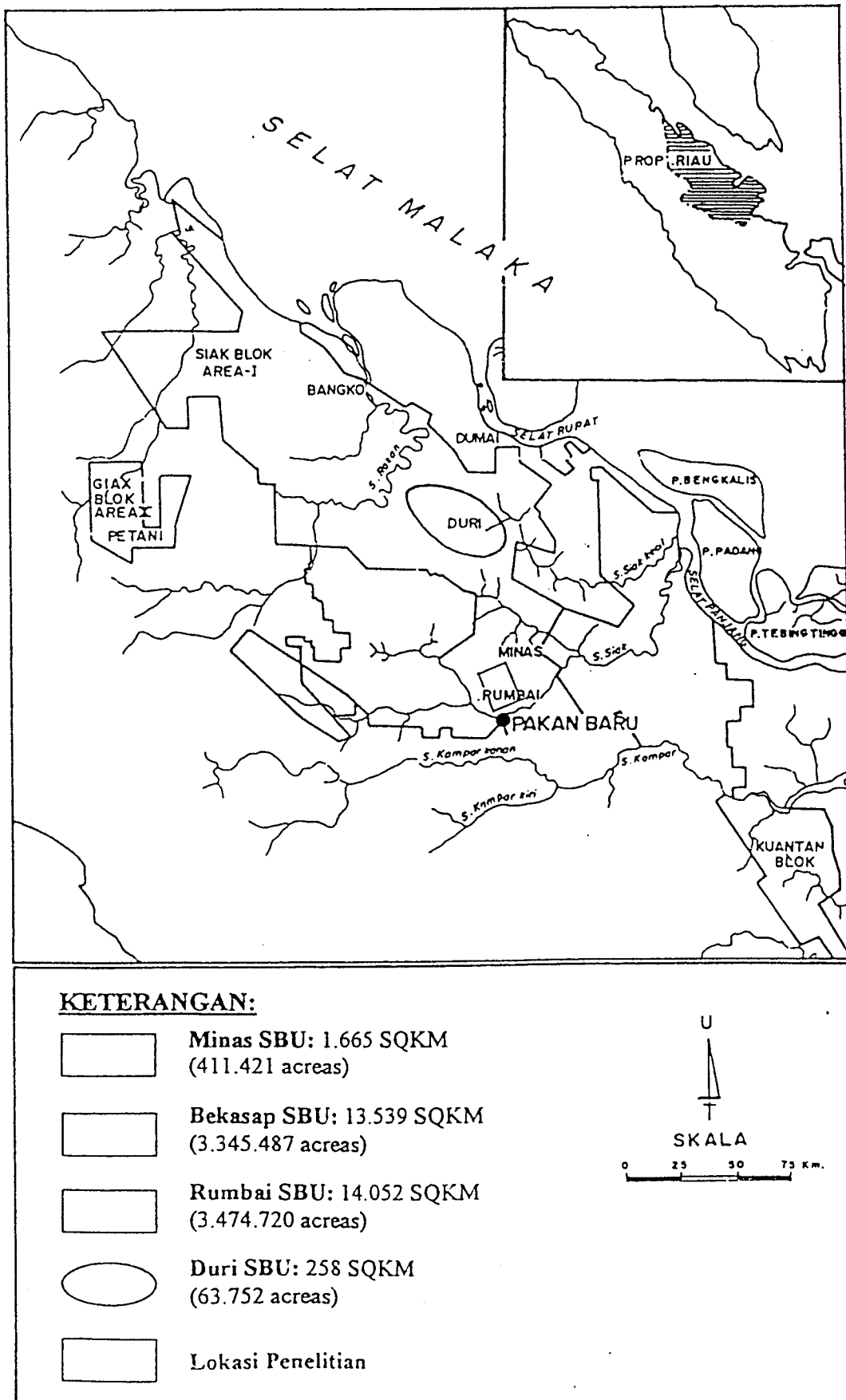
Penelitian ini bermaksud mempelajari sifat-sifat fisik zona tidak jenuh (*unsaturated zone*), sebagai media pertama yang menghantarkan zat kontaminan ke muka airtanah. Adapun tujuannya adalah untuk mengetahui penyebaran potensial hidrolik total dalam rongga pori pada zona tidak jenuh.

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar analisis pola pergerakan *plume* kontaminan NAPLs pada zona tidak jenuh (*unsaturated zone*), terutama pada tempat-tempat penyimpanan minyak bawah tanah yang mengalami kebocoran, jaringan perpipaan, maupun tumpahan atau rembesan minyak dipermukaan.

D. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di daerah *Rumbai Filling Station PT. Caltex Pacific Indonesia*, Pekanbaru, Propinsi Riau. Secara administratif daerah ini masih termasuk dalam Kotamadya Pekanbaru. Posisi daerah ini pada peta geologi lembar Pekanbaru-Sumatera (Clarke dkk, 1982), terletak diantara $101,15^{\circ}$ – $101,30^{\circ}$ BT dan $00,30^{\circ}$ LS. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Peta Lokasi Penelitian
(Sumber: PT. Caltex Pacific Indonesia, Pekanbaru Propinsi Riau)

E. Kondisi Umum Daerah Penelitian

1. Morfologi

Secara fisiografi, wilayah Propinsi Riau termasuk di dalam Zona Dataran Aluvial Pantai (Van Bemmelen, 1949 dan Clarke dkk, 1982) yang meluas di sepanjang pantai bagian timur Sumatera Tengah. Dari laporan Dinas Pertambangan Provinsi DT. I Riau (1994), diketahui bahwa morfologi wilayah ini dibagi atas dataran rendah dan daerah perbukitan.

Satuan Dataran Rendah, elevasinya bervariasi antara 0 – 50 meter di atas permukaan laut, dibentuk oleh endapan pasir, lempung, lumpur dan kerikil. Sedangkan Satuan Perbukitan, berkisar antara 50 – 100 meter di atas permukaan laut, disusun oleh batuan utama berupa batulempung, batupasir dan batulanau. Daerah penelitian, dengan elevasi berkisar 8 – 23 meter dari permukaan laut, termasuk dalam Satuan Dataran Rendah.

2. Geologi

Berdasarkan pada Peta Geologi Lembar Pekanbaru, Sumatera (Clarke dkk, 1982), secara regional, daerah Rumbai dan sekitarnya merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Tengah. Litologi daerah ini dibentuk oleh Formasi Minas (Qpmi) yang terdiri atas kerikil, sebaran kerakal, pasir dan lempung. Ketebalan Formasi Minas dapat mencapai 100 meter. Formasi ini diperkirakan berumur Pleistosen.

Formasi Minas dialasi secara tidak selaras oleh Formasi Petani (Tup) yang berumur Miosen Tengah sampai awal Pliosen. Sedangkan di atasnya terdapat Aluvium Tua yang berumur Pleistosen Akhir yang terdiri dari kerikil, pasir dan lempung. Ketebalan Aluvium Tua ini hingga mencapai 25 meter. Geologi regional daerah Pekanbaru dan sekitarnya disajikan pada Gambar 1.2.

3. Hidrogeologi

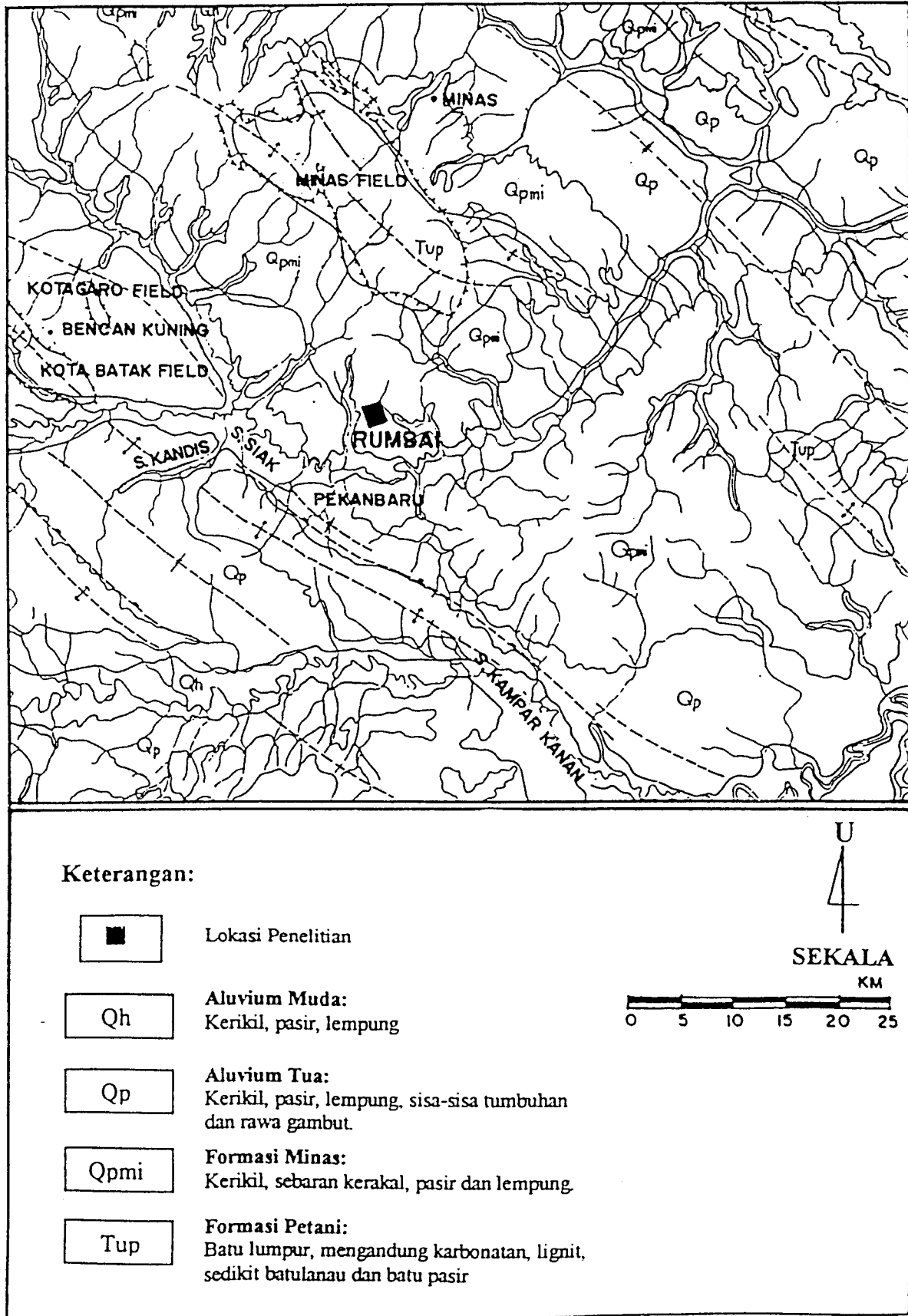
Berdasarkan pada Peta Hidrogeologi Propinsi Riau (Gambar 1.3), potensi airtanah propinsi ini dibagi dalam tiga kelompok: (1) airtanah dangkal di lembah

sungai berpotensi besar, sedangkan di dataran pantai potensinya kecil dengan kualitas asin dan payau. Airtanah dalam di dataran pantai juga berpotensi besar dengan penyebaran akifernya cukup merata; (2) potensi airtanah sedang dengan penyebaran akifer tidak merata; (3) potensi airtanah kecil dan langka, jarang terdapat akifer yang produktif. Di daerah penelitian, potensi airtanahnya digolongkan kedalam kelompok pertama. Dari hasil survey diketahui bahwa muka airtanah dangkal di daerah penelitian, pada musim kemarau dan musim hujan berfluktuasi dari 6 hingga 19,5 meter dari muka laut.

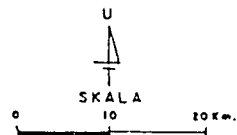
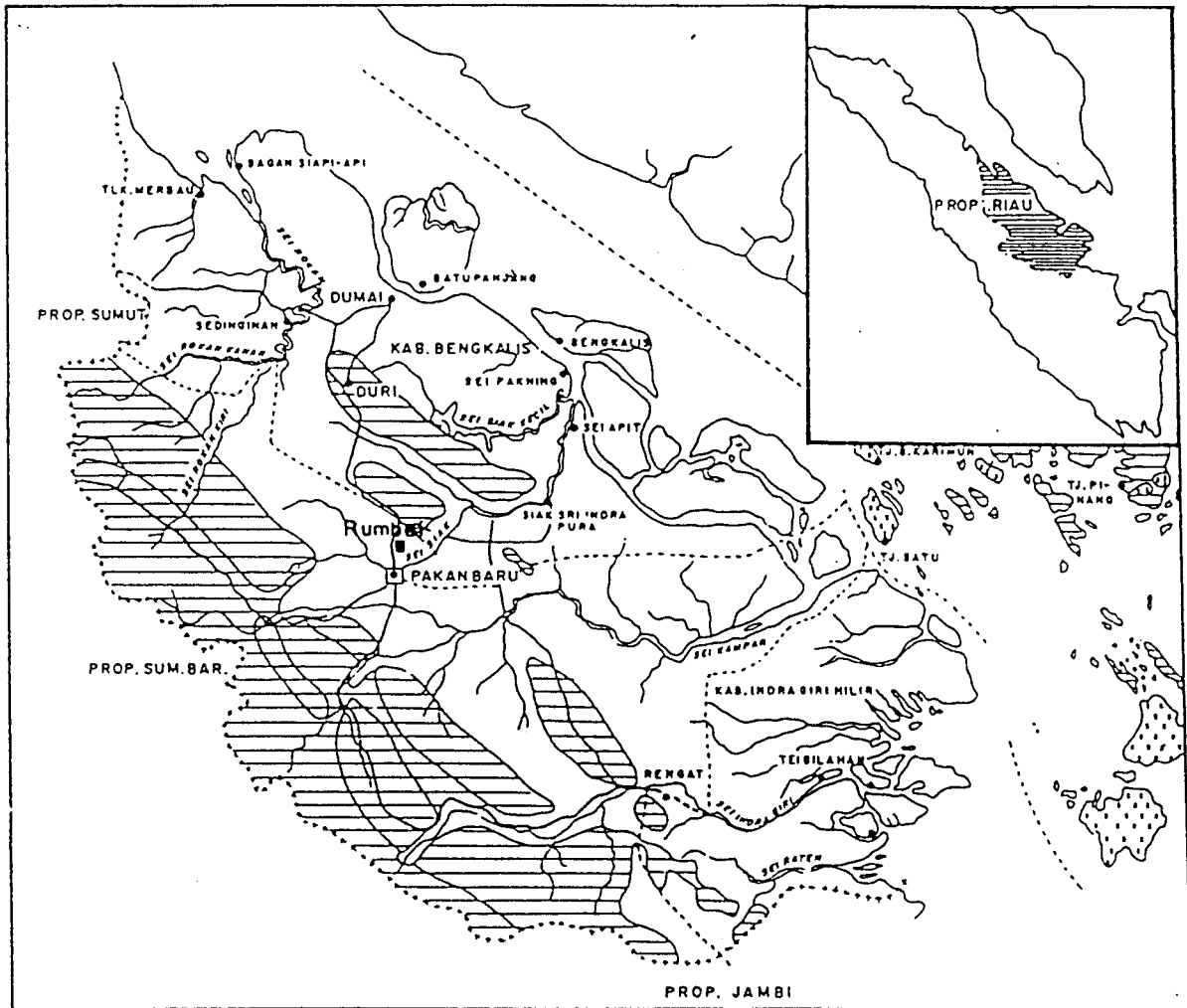
Menurut Dinas Pertambangan Propinsi DT. I Riau (1994), di daerah Pekanbaru dan sekitarnya, termasuk Rumbai, diperkirakan terdapat dua jenis akifer dengan kedalaman mencapai 150 meter yang terdiri atas:

- a. **Akifer Dangkal:** Terdiri dari pasir kuarsa berbutir halus hingga sedang, dengan harga tahanan jenis antara 100 –500 Ω meter, dan ketebalan < 10 meter.
- b. **Akifer Dalam:** Terdiri dari litologi pasir halus hingga kasar dengan sisipan lempung tipis, dengan harga tahanan jenis antara 14 –100 Ω meter, dan ketebalan > 100 meter. Di bagian atas akifer ini terdapat suatu lapisan batuan setengah kedap yang diduga berupa campuran lanau, lempung dan pasir halus karbon (gambut) dengan nilai tahanan jenis > 500 Ω meter dan ketebalan rata-rata mencapai 40 meter.

Mengenai kualitas airtanah dangkal yang digunakan oleh penduduk di sekitar daerah penelitian, secara visual, terlihat cukup beragam. Sebagian masyarakat menggunakan airtanah dangkal untuk keperluan sehari-hari seperti untuk minum, cuci dan mandi. Di beberapa tempat, airtanah dangkal tidak dapat digunakan sebagaimana layaknya, karena airnya berwarna kekuning-kuningan dan berbau. Sedangkan kuantitas airtanah dangkal di daerah penelitian, juga bervariasi. Dibeberapa tempat, pada musim kemarau, sumur-sumur penduduk yang kedalamannya dari muka tanah sekitar 3 – 5 meter, sama sekali kering. Hal ini tidak terjadi pada sumur hingga kedalaman di atas 6 meter. Sebagai gambaran, sebaran muka airtanah dangkal, berdasarkan survey yang dilakukan pada saat peralihan musim kemarau dan musim penghujan pertengahan bulan Januari 1998, di sekitar daerah penelitian di sajikan pada Gambar 1.4.


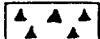
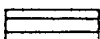
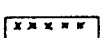



Gambar 1.2. Peta Geologi Regional Daerah Pekanbaru Propinsi Riau
(Sumb: Clarke dkk, 1982)






KETERANGAN

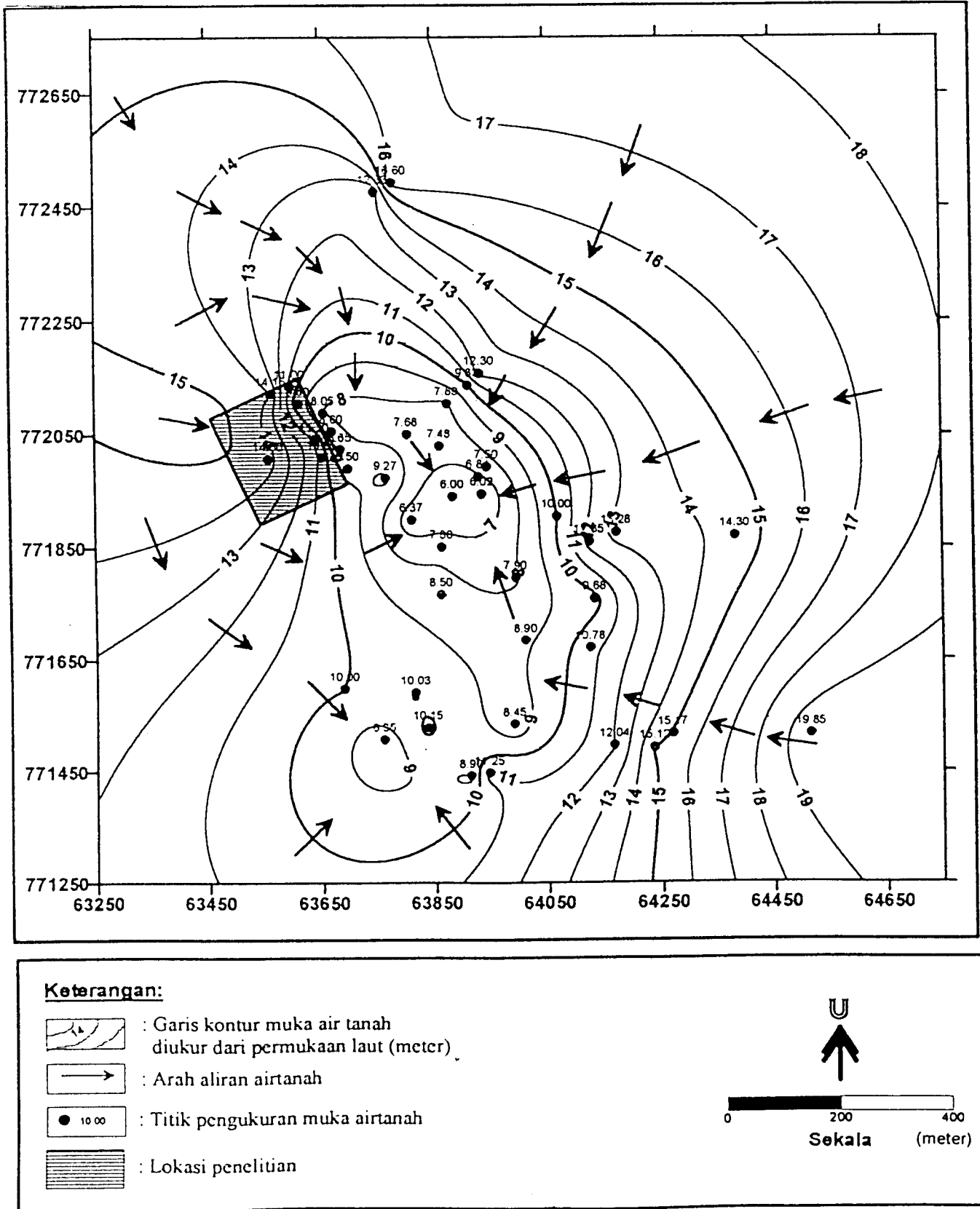
Daerah airtanah:

-  Dataran aluvium
-  Gunungapi tua
-  Perbukitan lipatan
-  Tubuh batuan beku
-  Lokasi penelitian

Potensi airtanah:

-  Airtanah dangkal di lembah sungai berpotensi besar, di dataran pantai kecil (asin, payau). Airtanah dalam di dataran pantai berpotensi besar, penyebaran akifer merata.
-  Potensi airtanahnya sedang, penyebaran akifer tidak merata.
-  Potensi airtanahnya kecil dan langka, jarang terdapat akifer produktif.

Gambar 1.3. Peta Hidrogeologi Daerah Propinsi Riau (Sumber Direktorat Geologi Tata Lingkungan, 1988)



Gambar 1.4. Peta Penyebaran Muka Airtanah Dangkal Daerah Penelitian.

BAB II KERANGKA TEORITIS

A. Persamaan Umum Aliran Minyak, Air dan Gas

Azis dan Settari (1979, p. 5 - 17) menyusun persamaan aliran multifase yang terdiri dari minyak, air dan gas, berdasarkan pada hukum konservasi massa. Aliran masing-masing fase dalam tiga dimensi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$-\nabla \cdot \mathbf{m}'_l = \frac{\partial(m_l)}{\partial t} + q'_l \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana: m'_l adalah flux massa komponen l per satuan luas per satuan waktu; m_l massa komponen l dalam satuan volume media; q'_l deplesi massa komponen l per satuan volume per satuan waktu; $\nabla \cdot \mathbf{m}'_l =$ laju aliran flux massa per satuan volume dan l faktor peubah (minyak, air dan gas).

Model matematika untuk aliran multifase yang biasa digunakan dalam bidang teknik reservoir minyak, berdasarkan pada asumsi bahwa sistem hidrokarbon terdiri dari komponen cair (*black oil*) dan komponen gas yang dapat larut dalam fase minyak. Model ini dikenal dengan model β atau model "*Black Oil*" dimana masalah aliran fluida diasumsikan terdiri dari fase minyak, air dan gas. Air dianggap fase membasahi (*wetting phase*), gas tidak membasahi (*non-wetting phase*) dan minyak dengan kebasahan diantara air dan gas (*intermediate wettability*). Air dan minyak adalah dua komponen yang tidak dapat bercampur (*immiscible*) dan gas dapat larut dalam minyak tetapi tidak larut dalam air.

Persamaan aliran multifase berdasarkan hukum konservasi massa dapat ditulis sebagai berikut:

- Untuk fase minyak:

$$-\nabla \cdot \left[\frac{1}{B_o} \mathbf{u}_o \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{1}{B_o} \phi S_o \right] + q_o \dots\dots\dots(3.2)$$

- Untuk fase air:

$$-\nabla \cdot \left[\frac{1}{B_w} \mathbf{u}_w \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{1}{B_w} \phi S_w \right] + q_w \dots\dots\dots(3.3)$$

• Untuk fase gas:

$$-\nabla \cdot \left[\frac{R_s}{B_o} u_o + \frac{1}{B_g} u_g \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(\frac{R_s}{B_o} S_o + \frac{1}{B_g} S_g \right) \right] + q_{fg} + R_s q_o \dots\dots\dots(3.4)$$

dimana: B_o , B_w , B_g adalah faktor volume formasi; u_o , u_w kecepatan aliran; ϕ porositas; S_o , S_w , S_g saturasi fase minyak, air dan gas; q_o , q_w , q_g deplesi massa minyak, air dan gas per satuan volume per satuan waktu dan R_s perbandingan gas dan minyak dalam larutan.

Berdasarkan pada hukum Darcy (1856), kecepatan aliran tiga fase di dalam media berpori dapat digambarkan sebagai berikut:

$$u_l = -\frac{kk_{rl}}{\mu_l} \left(\nabla p_l + \rho_l \frac{g}{g_c} \right) \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana: k adalah permeabilitas absolut; μ_l viskositas fluida; k_{rl} permeabilitas relatif fase l ; g percepatan gravitasi bumi dan g_c konstanta konversi = 32,2 lb_m/lb_f.ft/sec².

Dengan memasukkan persamaan 3.5 ke dalam persamaan 3.2, 3.3, dan 3,4, akan diperoleh persamaan aliran tiga fase berdasarkan pada hukum konservasi massa dan hukum Darcy. Bentuk persamaan tersebut adalah:

• Untuk minyak:

$$\nabla \cdot [\lambda_o (\nabla p_o - \gamma_o \nabla z)] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \frac{S_o}{B_o} \right] + q_o \dots\dots\dots (3.6)$$

• Untuk air:

$$\nabla \cdot [\lambda_w (\nabla p_w - \gamma_w \nabla z)] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \frac{S_w}{B_w} \right] + q_w \dots\dots\dots (3.7)$$

• Untuk gas:

$$\nabla \cdot \left[R_s \lambda_o (\nabla p_o - \gamma_o \nabla z) + \lambda_g (\nabla p_g - \gamma_g \nabla z) \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(\frac{R_s}{B_o} S_o + \frac{S_g}{B_g} \right) \right] + R_s q_o + q_{rg} \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana: λ_o , λ_w , λ_g adalah transmissibilitas fase $l = kk_{rl}/(\mu_l B_l)$; ∇p_o , ∇p_w , ∇p_g gradien tekanan fase minyak, air dan gas; γ_o , γ_w , γ_g densitas fase minyak, air dan gas dalam bentuk $\rho g/g_c$ dan z elevasi.

B. Persamaan Umum Aliran Air dan Udara

Dalam konteks aliran dua fase, Richards (1931) dalam Hillel (1971) menyusun persamaan aliran untuk zona tidak jenuh (dimana terdapat air dan udara) dengan ketentuan bahwa konduktivitas hidrolik merupakan fungsi dari *matric suction*, $K = K(\psi)$. Secara matematik persamaan Richards itu dapat dituliskan dalam bentuk:

$$q = - K(\psi) \cdot \nabla H \dots\dots\dots (3.9)$$

dimana: ∇H adalah gradien hidrolik yang mencakup suction dan komponen gravitasi. Menurut Miler dan Miler (1956) dalam Hillel (1971), formula tersebut mempunyai kelemahan karena tidak memperhitungkan karakteristik hysteresis airtanah.

Berdasarkan persamaan 3.7 di atas, untuk aliran dua fase (air dan udara) di zona tidak jenuh, faktor B_l , q_l tidak diperhitungkan karena aliran fluida pada zona ini hanya dipengaruhi oleh nilai saturasi dan permeabilitas relatif. Oleh karena itu harga λ_l pada persamaan 3.7 dikonversi dalam bentuk konduktivitas hidrolik sebagai fungsi dari *matric suction*. Gradien hidrolik $\nabla p_w - \gamma_w \nabla z = \nabla H$ atau $\nabla p_w - \gamma_w \nabla z = \nabla (\Psi - z)$, sehingga persamaan 3.7 dapat ditulis ulang menjadi persamaan umum aliran dua fase (air dan udara) dalam kondisi transien steady sebagai berikut:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla \cdot q \dots\dots\dots (3.10)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot [K(\psi) \nabla H] \dots\dots\dots (3.11)$$

Hydraulic head adalah jumlah dari *pressure head* (dalam hal ini *suction head* bernilai negatif) dan *gravitational head* (elevasi) z , sehingga persamaan 3.11 dapat ditulis dalam bentuk:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla \cdot [K(\psi) \nabla (\psi - z)] = -\nabla \cdot (K \nabla \psi) + \frac{\partial K}{\partial z} \dots\dots\dots (3.12)$$

atau

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} = \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots\dots\dots (3.13)$$

dimana: $\frac{\partial \theta}{\partial \psi}$ adalah kemiringan karakteristik kelembaban tanah

C. Tegangan Permukaan dan Gaya Kapileritas.

Tegangan permukaan (*surface tension*) merupakan suatu fenomena khusus yang terjadi pada bidang batas (*interface*) antara permukaan zat cair dengan udara. Pada kondisi setimbang, permukaan cairan seperti tertutup oleh suatu membran yang elastis (Hillel, 1971. p: 36). Hal ini disebabkan karena adanya gaya-gaya yang bekerja pada permukaan zat cair tersebut. Jika pada permukaan zat cair sepanjang L , bekerja gaya aksi (gaya tarik) ke kanan sebesar F , maka timbul gaya reaksi ke kiri ($-F$) yang besarnya sama dengan gaya aksi. Akibat dari adanya gaya-gaya tersebut, permukaan zat cair berkontraksi atau meregang.

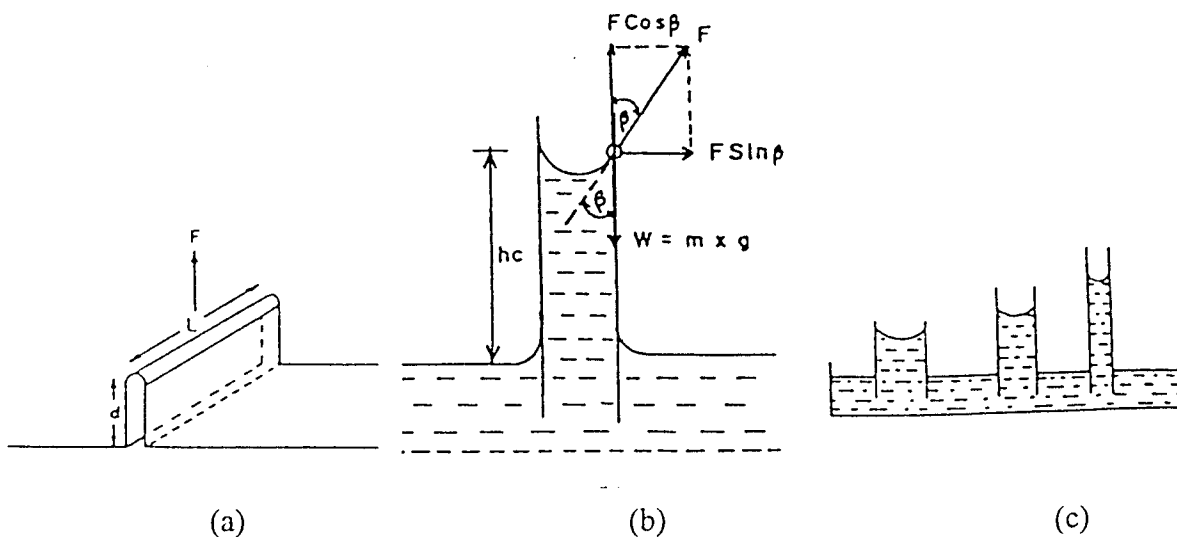
Meregangnya permukaan zat cair disebabkan adanya gaya kohesi (*cohesive force*) yang bekerja antar molekul-molekul zat cair. Gaya tarik menarik antar molekul zat cair tersebut, sebanding dengan massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat massa. Gaya tarik menarik itu setimbang dan sama besar ke segala arah (Hillel, 1971. p:36 dan Triatmodjo, 1993. p:16). Tetapi pada permukaan antara zat cair dengan udara, atau antara zat satu dengan yang lainnya, gaya tarik ke atas dan ke bawah tidak setimbang. Ketidaksetimbangan ini disebabkan karena molekul-molekul pada permukaan melakukan kerja atau usaha untuk melawan gaya tarik ke bawah, sehingga pada permukaan zat cair tersebut seakan-akan membentuk suatu membran elastis yang meregang. Peristiwa ini dikenal sebagai tegangan permukaan (*surface tension*).

Kirkham dan Powers (1972, p:12-13) mengaplikasikan fenomena di atas dengan menarik sebatang kawat dari dalam zat cair ke permukaan. Gambar 3.1a menjelaskan, jika panjang kontak antara zat cair dengan kawat adalah L , d adalah jarak dan γ koefisien tegangan permukaan, maka gaya yang diperlukan untuk melawan tegangan permukaan adalah: $F = 2(\gamma L)$. Sedangkan usaha W yang dibutuhkan untuk melawan gaya tegangan permukaan pada jarak d adalah: $W = F.d$. Dengan menggabungkan kedua hasil di atas, akan didapatkan koefisien tegangan permukaan sebesar $\gamma = W/2Ld$. Dengan melihat rumusan tersebut, maka dimensi tegangan permukaan adalah sama dengan gaya persatuan panjang (N/m atau Dyne/cm). Dalam bentuk energi, dimensi tegangan permukaan adalah Erg/cm² atau gram/detik².

Hubungan antara tegangan permukaan dan kapileritas ditentukan oleh parameter fisik zat cair dengan benda-benda yang kontak dengannya. Berkaitan dengan zat cair

yang menempati rongga pori di dalam tanah, gabungan antara tegangan permukaan dengan gaya-gaya yang bekerja pada bidang sentuh antara air dengan partikel tanah, dapat menyebabkan naiknya air di dalam rongga kapiler. Secara fisika, kenaikan ini disebabkan oleh adanya perbedaan gaya kohesi dan adhesi. Pada saat air naik di dalam pipa kapiler, gaya adhesi lebih dominan dari pada gaya kohesi. Perbedaan ini juga menyebabkan terbentuknya kurva meniskus cekung pada permukaan zat cair dengan sudut kontak berkisar antara 0° dan 90° (Hausmann dan Slack, 1948 dalam Kirkham dan Powers, 1972, p: 21). Di sisi lain, terbentuknya kurva meniskus cekung disebabkan adanya perbedaan tekanan atmosfer dengan tekanan di bawah kurva meniskus.

Untuk mengetahui tinggi kenaikan air di dalam pipa kapiler (*capillary rise*), perlu ditinjau kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja di sepanjang bidang kontak antara air dengan dinding kapiler. Kalau γ adalah tegangan permukaan dan l panjang atau keliling bidang sentuh antara zat cair dengan dinding kapiler, maka gaya tarik yang bekerja di sepanjang bidang kontak antara air dengan dinding kapiler adalah $F = 2\pi r \cdot \gamma \cdot \cos\beta$. Berat zat cair di dalam kolom kapiler adalah $W = \pi r^2 \cdot \gamma \cdot g \cdot h_c$. Dalam keadaan setimbang, gaya-gaya pada permukaan akan saling meniadakan. Dengan mengkombinasikan kedua persamaan F dan W akan diperoleh tinggi kenaikan kapiler (h_c) seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.1b.



Gambar 3.1. (a) Gejala tegangan permukaan (Kirkham dan Powers, 1972, p: 13).
 (b) Hubungan tegangan permukaan dengan kapileritas.
 (c) Perbedaan tinggi kenaikan air di dalam tabung kapiler karena perbedaan radius tabung kapiler (Kirkham dan Powers, 1972, p: 21).

Kesetimbangan gaya-gaya: $2\pi r \cdot \gamma \cdot \cos\beta - \pi r^2 \cdot \rho \cdot g \cdot h_c = 0$, $2\pi r \cdot \gamma \cdot \cos\beta = \pi r^2 \cdot \rho \cdot g \cdot h_c$, maka:

$$h_c = \frac{2\gamma \cos\beta}{r\rho g} \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana: h_c = tinggi kenaikan air di dalam pipa kapiler (cm), γ = tegangan permukaan (dyne/cm), ρ = densitas air (gram/cm³), r = jari-jari pipa kapiler (cm), g = percepatan gravitasi bumi (cm/detik²)

Tinggi kenaikan air di dalam pipa kapiler h_c pada persamaan 3.1 di atas, berbanding lurus dengan tegangan permukaan dan sudut kontak serta berbanding terbalik dengan jari-jari kapiler. Artinya dengan tegangan permukaan sebesar γ dan sudut kontak β tetapi jari-jari kapiler semakin mengecil, maka harga h_c semakin tinggi. Perbedaan tinggi kenaikan air di dalam tabung kapiler dengan perbedaan jari-jari dijelaskan pada Gambar 3.1c. Sudut kontak yang terbentuk antara air dengan beberapa mineral tanah biasanya diambil sama dengan nol, $\theta = 0$ (Young, 1975. p: 113 dan Hausmann dan Slack, 1948 dalam Kirkham dan Powers 1972, p: 21)). sehingga persamaan 3.14 menjadi:

$$h_c = \frac{2\gamma}{r\rho g} \dots\dots\dots(3.15)$$

Kenaikan kapiler dapat terjadi apabila mendapat pasokan dari muka airtanah. Apabila muka airtanah berfluktuasi dengan infiltrasi air permukaan, tabung kapiler mungkin akan terisi seperti pada Gambar 3.1a dan 3.1b di atas. Apabila tabung kapiler terisi penuh, akan terjadi kondisi jenuh untuk jalur pori tanah ditempat itu, tetapi secara keseluruhan, belum tentu tanah di tempat itu sudah jenuh (Bowles, 1989. p:257).

D. Konsep Potensial Hidrolik

Pemahaman tentang konsep energi potensial berguna untuk mengevaluasi tenaga-tenaga yang bekerja pada airtanah. Hal ini juga berguna untuk menentukan sejauh mana air yang berada dalam suatu sistem tanah berada dalam kesetimbangan. Airtanah memiliki energi dalam bentuk dan jumlah yang berbeda-beda. Dalam fisika klasik dikenal dua bentuk energi yaitu: energi kinetik dan energi potensial. Karena pergerakan air di dalam tanah cukup lambat, maka energi kinetik yang bergantung pada kuadrat kecepatan aliran airnya, dapat diabaikan.

Perbedaan energi potensial pada setiap titik mengakibatkan air yang berada di dalam tanah mengalir. Airtanah cenderung mengalir dari tempat di mana energi potensialnya lebih tinggi ke tempat yang energi potensialnya lebih rendah. Sedangkan gaya aksinya sama dengan negatif gradien potensial ($-\frac{d\phi}{dX}$), Hillel (1971. p: 50), dimana ($d\phi$) adalah perubahan energi potensial dan (X) adalah jarak. Tanda negatif menunjukkan bahwa gaya tersebut bekerja searah dengan penurunan energi potensial.

Ketika tanah berada dalam kondisi jenuh (*saturated*) dan airtanahnya berada pada suatu tekanan hidrostatis yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer, berarti tingkat energi potensialnya lebih besar dari pada energi potensial pada garis referensi standar (potensial airtanah positif). Pada saat tanah berada dalam keadaan lembab tetapi tidak jenuh, air diikat oleh tegangan permukaan. Pada kondisi ini energi potensialnya menjadi negatif dan tekanan hidrostatisnya lebih kecil dari pada tekanan hidrostatis pada referensi standar.

E. Potensial Total Airtanah

Potensial total airtanah merupakan gabungan dari beberapa potensial. Childs dan Collis-George (1948) dalam Kirkham dan Powers (1972. p: 26) menyebutkan adanya empat potensial yaitu: (1) potensial gravitasi (*gravitational potential*), (2) potensial tekanan hidrolis (*hydraulic pressure potential*), (3) potensial osmotik (*osmotic potential*) dan (4) potensial adhesi (*adhesion potential*). Mereka menggabungkan (2), (3) dan (4) ke dalam potensial kapiler (*capillary potential*), istilah yang diperkenalkan oleh Buckingham (1907) (Kirkham dan Powers, 1972. p: 26), (Philip, 1969 dalam Scheidegger, 1974. p: 53-54) dan Fetter (1993, p.168).

Dari beberapa literatur, potensial kapiler disebut sebagai potensial matrik (*matric potential*) dari kata matrik tanah (*soil matric*) (Richard (1960), Rose (1966), Day dan Anderson (1967) dalam Kirkham dan Powers (1972. p: 26)), Hillel (1971. p:52), Young dan Warkentin (1975, p: 136-139), Fetter (1993, p.169). Lebih jauh, Kirkham dan Powers (1972) memberikan batasan pada energi potensial kapiler sebagai kerja atau energi yang diperlukan untuk menarik atau mengangkat satu satuan massa, misalnya 1 gram atau 1 miligram, air dari tanah tidak jenuh air (*unsaturated*). Hillel (1971, p: 52) merumuskan potensial total sebagai berikut:

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_o + \dots \dots \dots (3.16)$$

dimana: Ψ_t adalah potensial total, Ψ_g potensial gravitasi, Ψ_p potensial tekanan, Ψ_o potensial osmotik. Potensial-potensial yang terdapat dalam persamaan 3.16 di atas, bekerja masing-masing dengan gradien yang terpisah-pisah, sehingga tidak sama efektifnya dalam membentuk aliran. Sebagai contoh, gradien potensial osmotik memerlukan membran semipermeabel untuk mendorong aliran zat cair di dalam media berpori. Freeze dan Cherry (1979, p:38-41) dan Fetter (1993, p. 169) mengabaikan gradien potensial osmotik dalam airtanah tidak jenuh. Dengan demikian mereka menyusun potensial total airtanah dalam bentuk: $\phi = \Psi(\theta) + Z$, dimana Z adalah potensial gravitasi, $\Psi(\theta)$ potensial kapiler yang merupakan fungsi kadar air.

Potensial matrik dapat diukur sebagai tekanan kapiler (*capillary pressure*), P_c . Satuannya adalah N/m^2 , equivalen dengan $Joule/m^3$ atau energi per satuan volume dengan dimensi $LM^{-1}T^{-2}$. Potensial gravitasi Z adalah sama dengan $\rho_w \cdot g \cdot z$, dimana g adalah percepatan gravitasi, ρ_w adalah densitas air dan z adalah elevasi. Maka potensial total dalam bentuk energi persatuan volume dapat ditulis sebagai berikut:

$$\phi_T = P_c + \rho_w \cdot g \cdot z \dots\dots\dots(3.17)$$

Jika persamaan (3.17) dibagi dengan $\rho_w \cdot g$, maka jumlah potensial total dalam bentuk energi per satuan berat adalah:

$$\phi_T = \frac{P_c}{\rho_w \cdot g} + \frac{\rho_w \cdot g \cdot z}{\rho_w \cdot g} \Rightarrow \phi_T = h_c + z \dots\dots\dots(3.18)$$

dimana: h_c = potensial tekanan atau potensial matrik (dalam satuan tinggi kolom air).

z = elevasi (dalam satuan panjang).

Jika persamaan (3.18) dibagi dengan ρ_w akan dihasilkan potensial total airtanah sebagai energi per satuan massa, dalam satuan MKS (Joule/kg) atau CGS (Erg/gram) atau L^2T^{-2} . Sehingga:

$$\phi_T = \frac{P_c}{\rho_w} + \frac{\rho_w \cdot g \cdot z}{\rho_w} \Rightarrow \phi_T = g \cdot h_c + g \cdot z \dots\dots\dots(3.19)$$



UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY
400 CHURCH AVENUE
BERKELEY, CALIF. 94720

F. Potensial Gravitasi

Potensial gravitasi airtanah pada setiap titik ditentukan berdasarkan pada elevasinya terhadap garis referensi standar. Potensial gravitasi mempunyai nilai positif jika berada di atas garis referensi dan bernilai nol jika berada pada garis referensi (Kirkham dan Power, 1972. p: 34). Di atas suatu garis referensi, energi potensial gravitasi Ψ_g dari suatu massa air M yang mengisi suatu volume V tanah tidak jenuh adalah:

$$\Psi_g = M \cdot g \cdot z = \rho_w \cdot V \cdot g \cdot z \dots\dots\dots(3.20)$$

dimana ρ_w adalah densitas air, g percepatan gravitasi bumi, z elevasi airtanah terhadap suatu garis referensi. Kirkham dan Power (1972. p: 35) menamakan z sebagai head gravitasi (*gravitational head*). Energi potensial gravitasi per satuan massa digambarkan sebagai:

$$\Psi_g = g \cdot z \dots\dots\dots(3.21)$$

Sedangkan energi potensial gravitasi persatuan volume digambarkan dalam bentuk persamaan:

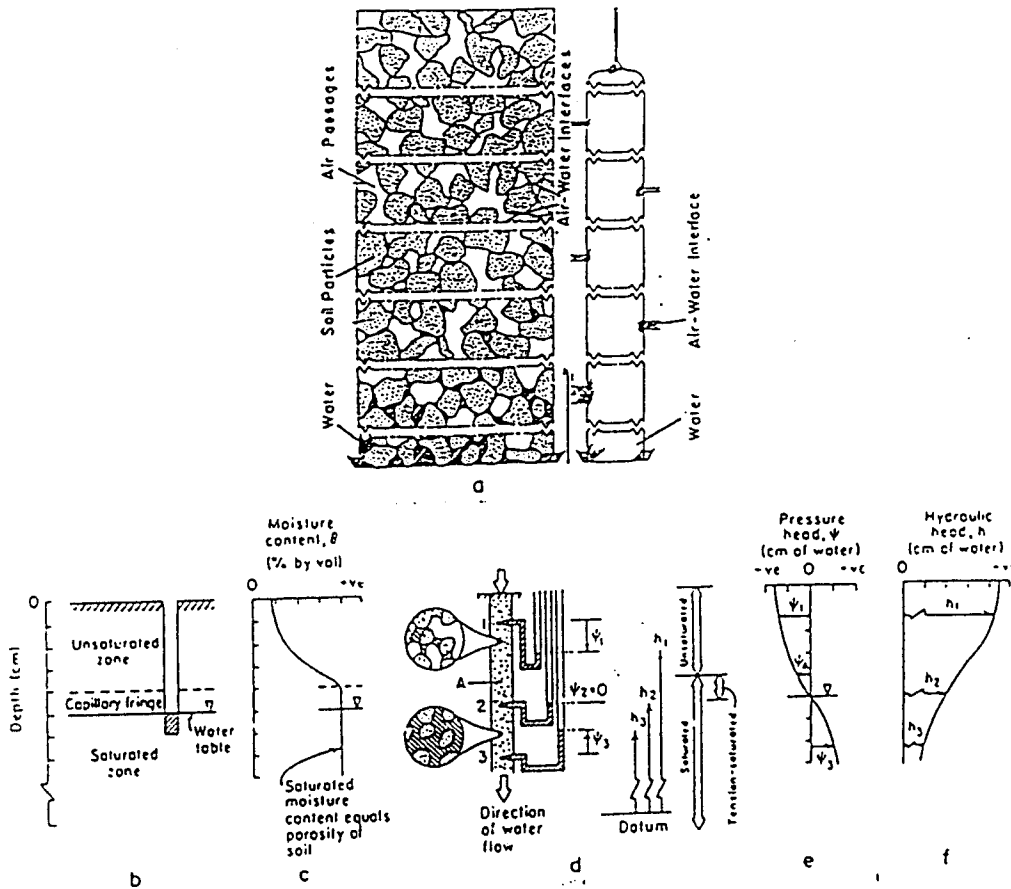
$$\Psi_g = \rho_w \cdot g \cdot z \dots\dots\dots(3.22)$$

G. Potensial Tekanan

Pada saat airtanah berada pada tekanan hidrostatik yang lebih besar dari pada tekanan atmosfer, potensial tekanannya positif. Sebaliknya, jika tekanan hidrostatik lebih kecil dari tekanan atmosfer, potensial tekanannya negatif. Dengan demikian, air di bawah muka airtanah memiliki potensial tekanan positif, sedangkan pada muka airtanah potensial tekanannya sama dengan nol. Gambar 3.2 menerangkan bagaimana air yang berada di dalam tanah jenuh naik ke dalam rongga pori tanah yang tidak jenuh pada bagian atasnya.



MIN. NEBENLAND
OMMÄTTNINGEN .VIN
KÄRRETTEN KEMIN



Gambar 3.2. (a) Batas permukaan udara dan air di dalam partikel tanah (Gardner dan Chatelain, 1947 dalam Kirkham & Powers, 1972). (b) Batas zona *saturated* dan *unsaturated*. (c) Profil kadar air vs. kedalaman. (d) Hubungan pressure head vs hydraulic head. (e) Profil pressure head vs. kedalaman. (f) Profil hydraulic head vs. kedalaman (Freeze & Cherry, 1979).

Apabila sistem tersebut berada dalam kondisi setimbang, artinya tidak ada penambahan air dari permukaan, maka air yang berada pada kolom kapiler akan naik setinggi h_t . Secara teoritis, Kirkham & Powers (1972) dan Freeze & Cherry (1979) mengambil nilai h_t sebagai suatu ukuran untuk menentukan potensial kapiler. Jika airtanah dibawah pengaruh tegangan (tension) T , maka:

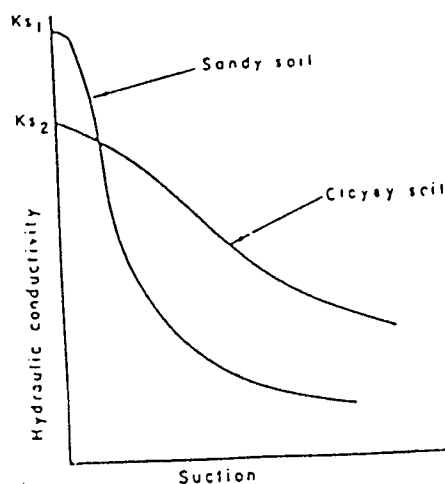
$$T = -\rho \cdot g \cdot h_t \dots \dots \dots (3.23)$$

dimana $|h_t|$ adalah head tegangan (*tension head*). Tanda (-) menunjukkan bahwa *tension head* berlawanan arah dengan tekanan (*pressure*). Jika (Ψ) adalah potensial kapiler, maka potensial per satuan massa adalah:

$$(\psi) = \frac{T}{\rho} = -|g \cdot h_t| \dots \dots \dots (3.24)$$

H. Hubungan Matric Suction, Konduktivitas Hidrolik Jenuh, Kadar Air dan Besar Butir

Gambar 3.3 menerangkan bentuk umum ketergantungan konduktivitas hidrolik tidak jenuh terhadap suction pada tekstur tanah yang berbeda. Konduktivitas hidrolik jenuh dan besar butir tanah pasiran (K_{s1}) lebih besar bila dibandingkan dengan konduktivitas hidrolik jenuh tanah lempungan (K_{s2}). Tetapi pada saat tanah tidak jenuh, K_1 menurun lebih tajam terhadap kenaikan suction bila dibandingkan dengan K_2 .



Gambar 3.3: Hubungan Konduktivitas Hidrolik Dengan Suction pada Tanah yang Teksturnya Berbeda (Hillel 1971, p. 108)

Gardner (1960) dalam Hillel (1971, p.108), menyusun persamaan empirik untuk memprediksi hubungan konduktivitas hidrolik tidak jenuh dengan suction dan kadar air. Secara matematis hubungan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$K = \frac{a}{b + \psi^m} \dots\dots\dots(3.25)$$

$$K = a\theta^m \dots\dots\dots(3.26)$$

dimana: K adalah konduktivitas hidrolik tidak jenuh, a,b dan m konstanta empirik, Ψ matric suction dan θ kadar air.

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

BAB III METODE PENELITIAN

A. Survey Topografi, Geologi dan Hidrogeologi

Survey ini dilakukan dengan radius $\pm 2 \text{ km}^2$ yang mencakup pemetaan topografi, geologi permukaan, hidrogeologi, pembuatan grid dan pemasangan patok untuk pengambilan sampel tanah.

B. Pemboran Inti

Pemboran inti menggunakan *hand auger* dengan mata bor *IWAN AUGER*. Lokasi penelitian seluas 58.800 m^2 dibagi dalam 42 grid, masing-masing grid berukuran $35 \times 35 \text{ m}$ atau 1.225 m^2 .

C. Metode Sampling

Pengambilan contoh tanah *undisturbed* dimulai dari kedalaman 1,35 m. Sampling berikutnya dilakukan secara berturut-turut dengan interval kedalaman 1 m hingga mencapai kedalaman 4,35 m. Apabila dalam rentangan kedalaman 0 – 4,35 m ditemukan muka airtanah atau lempung, maka sampling dihentikan.

D. Pengukuran *Matric Suction* (Ψ)

Matric Suction diukur pada setiap titik pemboran dengan Tensiometer model Hidratal 1000.

E. Uji laboratorium

Meliputi analisis sampel untuk menentukan parameter fisik tanah yang terdiri dari: kadar air, analisis besar butir, dan konduktivitas hidrolik jenuh.

F. Perhitungan Potensial Hidrolik.

Penggambaran potensial hidrolik dilakukan pada empat kedalaman. Pada kedalaman 1,35 m digunakan hasil pengukuran, sedangkan pada kedalaman 2,35; 3,35

dan 4,35 m dihitung berdasarkan hasil pendugaan *matric suction* dengan pendekatan regresi linier berganda.

Penggunaan analisis linier berganda dimaksudkan untuk mendapatkan persamaan peramal *matric suction*. Untuk melihat pengaruh tunggal masing-masing variabel terhadap *matric suction*, juga dilakukan analisis regresi linier sederhana (*Bivariate*) dan analisis regresi non linier sederhana. Kedua analisis linier dan non linier tersebut dimaksudkan untuk mengetahui variabel mana saja yang paling berpengaruh dan model mana saja yang dapat menghasilkan korelasi terbaik untuk meramal nilai *matric suction*. Proses analisis tersebut menggunakan piranti lunak Statistica Versi 5,0 yang dioperasikan pada PC (*personal Computer*).

Untuk mendapatkan gambaran tentang penyebaran potensial hidrolik serta pola aliran airtanah zona tidak jenuh, maka *head total* (*head suction* + *head gravitasi*) dimasukkan kedalam program SURFER (WIN 32) Versi 6.00.

G. Head Suction

Head suction (h_c) dihitung dengan melakukan konversi dari *matric suction* (dalam centi bar) ke dalam satuan meter tinggi kolom air dalam suatu tabung kapiler (1 CB = 0,102 m).

H. Head Gravitasi

Head gravitasi (z) ditentukan berdasarkan posisi atau kedudukan titik pengamatan terhadap garis referensi standar (permukaan laut). Jadi: z = elevasi muka tanah – kedalaman titik pengamatan.

I. Potensial Total

Head total dihitung melalui penjumlahan *head suction* dengan *head gravitasi* (*head total* = *head suction* + *head gravitasi*).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pekerjaan Lapangan

1. Peta Geologi Permukaan

Survey geologi yang dilakukan terhadap daerah penelitian adalah survey geologi permukaan. Luas daerah yang disurvei meliputi (210 X 280) m². Dari hasil survey tersebut diketahui bahwa geologi permukaan daerah penelitian, yang merupakan Formasi Minas (Qpmi) (Clarke dkk, 1982), terutama tersusun atas pasir lanauan, lempung pasiran dan di beberapa tempat ada urugan. Peta geologi permukaan hasil survey disajikan pada Gambar 4.1. Adapun penyebarannya, di sebelah selatan dan barat Filling Station didominasi oleh pasir lanauan dengan pasir (kuarsa) halus, sedang dan kasar, berwarna kuning, coklat muda dan kehitam-hitaman. Litologi tersebut menyebar dari sebelah barat dan menipis ke arah timur Filling Station. Di sebelah tenggara juga terdapat litologi ini yang berupa sisipan dalam lempung pasiran (lihat grid R6B dan R6A pada Gambar 4.1). Sedangkan ke arah utara didominasi oleh litologi berupa lempung pasiran, di beberapa tempat ditemukan lempung murni dengan plastisitas sedang hingga tinggi berwarna coklat kemerah-merahan, putih dan abu-abu.

2. Pemboran Inti dan Pengambilan Contoh Tanah

Selain survey geologi permukaan, juga dilakukan pemboran untuk mengambil contoh tanah. Lokasi seluas 58.800 m² dibagi dalam 42 grid, masing-masing grid berukuran 35 % 35 meter atau 1.225 m². Dari 42 grid yang ada, pemboran hanya dapat dilakukan pada 37 titik dengan kedalaman maksimum 4,35 meter dari permukaan (lihat Gambar 4.2). Sedangkan pada lima titik lainnya tidak dapat dilakukan pemboran karena pada titik-titik tersebut terdapat jaringan kabel listrik dan telpon.

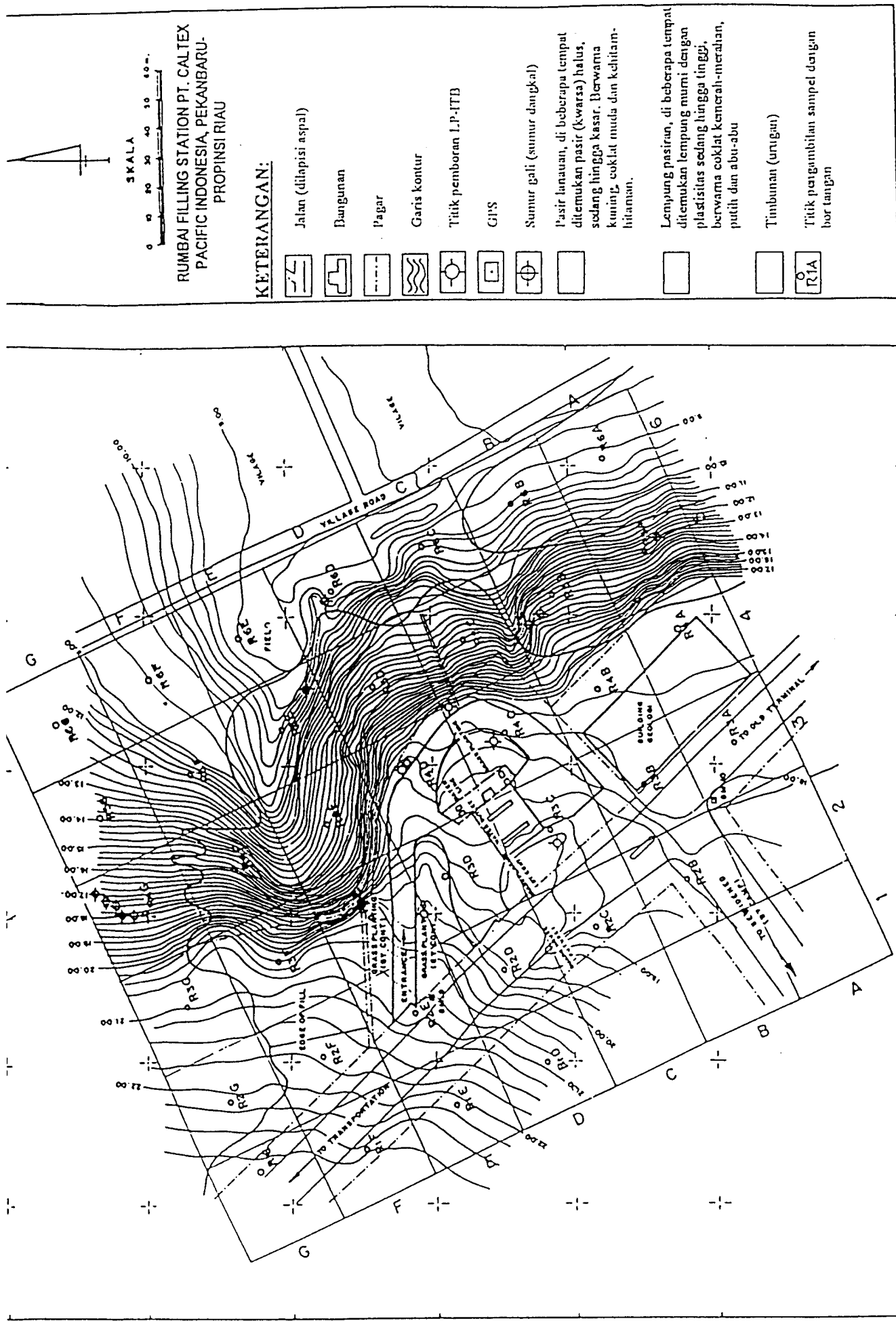
Pengambilan contoh tanah pada titik yang dibor dimulai dari kedalaman 1,35 meter. Sampling berikutnya dilakukan secara berturut-turut dengan interval kedalaman 1 meter hingga mencapai kedalaman 4,35 meter. Apabila dalam rentangan kedalaman 0 – 4,35 meter ditemukan muka airtanah atau lempung, maka kegiatan sampling dihentikan.

3. Litologi Hasil Pemboran

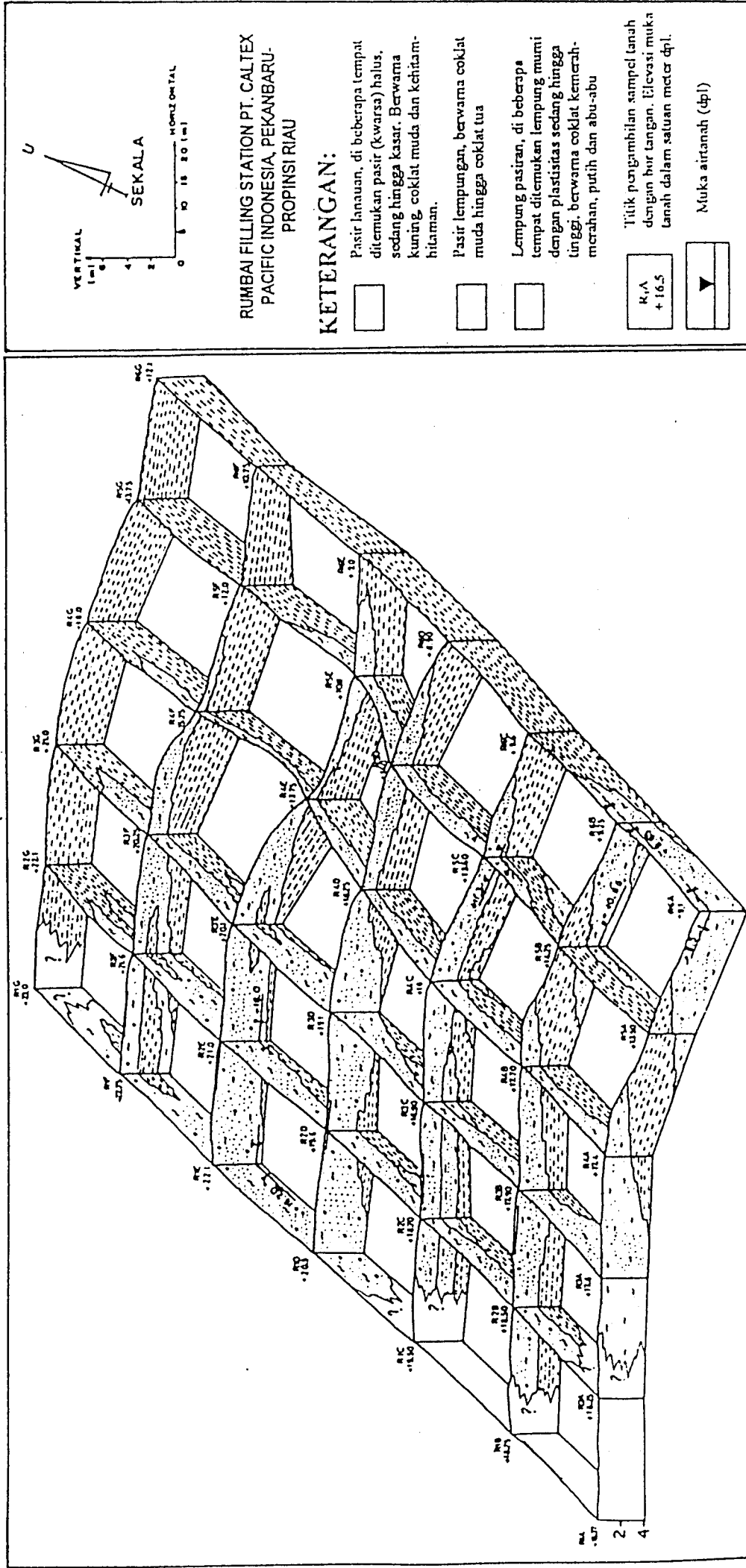
Dari pemerian *cutting* hasil pemboran, didapatkan bahwa litologi daerah penelitian tersusun atas empat jenis litologi dari atas ke bawah sebagai berikut:

- a. **Top soil.** Ketebalannya berkisar antara 10 hingga 20 cm. berupa hasil pelapukan, mengandung akar-akar tumbuhan, berwarna hitam dan abu-abu. Dengan sekala seperti pada Gambar 4.2, ketebalan top soil tidak dapat digambarkan.
- b. **Pasir lanauan.** Pasir (kwarsa) dalam litologi ini berbutir halus, hingga kasar, berwarna kuning, coklat muda dan kehitam-hitaman. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa litologi ini menebal di sebelah barat dan menipis ke arah utara dan timur Filling Station.
- c. **Pasir lempungan.** Berwarna coklat muda hingga coklat tua. Hasil korelasi log litologi pemboran (Gambar 4.2) menunjukkan bahwa pasir lempungan hanya ditemukan pada jalur penampang C-C, berbentuk lensa dengan ketebalan kurang lebih 1,5 meter, terletak diantara pasir lanauan dan lempung pasiran.
- d. **Lempung pasiran.** Berwarna coklat kemerah-merahan, putih dan abu-abu. Lempung pasiran ini mengalasi (1), (2), (3) di atas dan lebih dominan di sebelah utara dan timur Filling Station.

Untuk melihat korelasi litologi di atas, maka dibuat diagram pagar yang disajikan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.1. Peta Geologi Permukaan dan Grid Pengambilan Contoh Tanah
Daerah Penelitian**



Gambar 4.2. Diagram Pagar Daerah Penelitian

4. Pengukuran Matric Suction

Matric Suction (Ψ) diukur pada setiap titik pemboran. Alat yang digunakan untuk mengukur *Matric Suction* adalah tensiometer model Hidratal 1000, yang panjangnya 40 cm. Untuk mendapatkan nilai *Matric Suction* pada setiap titik yang diukur, tabung tensiometer yang diisi penuh dengan air dimasukkan ke dalam tanah. Angka yang ditunjukkan oleh alat ukur tensiometer menyatakan nilai matric suction ditempat tersebut, setelah dikoreksi (dikurangi) dengan nilai 40/10. Pengurangan ini dilakukan karena pada tiap-tiap 10 cm panjang tensiometer, terjadi penurunan tekanan sebesar 1 centibar. Jadi kalau dari hasil pengukuran di lapangan didapatkan matric suction sebesar 45 CB, setelah dikoreksi maka hasilnya adalah $45 - (40/10) = 41$ CB. Hasil pengukuran matric suction dengan tensiometer disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Matric Suction di Lokasi Penelitian Rumbai Filling Station, PT. Caltex Pacific Indonesia, Pekanbaru – Propinsi Riau.

No.	Titik Pengukuran	Satuan batuan Berdasarkan hasil diskripsi	Matric suction hasil Pengukuran (Ψ) (CB)	Matric suction setelah dikoreksi (Ψ) (CB)
1	R1D	Pasir lanauan	-31.00	-27.00
2	R1E	Pasir lanauan	-23.00	-19.00
3	R1F	Pasir lanauan	-19.00	-15.00
4	R2B	Pasir lanauan	-17.00	-13.00
5	R2C	Pasir lanauan	-23.50	-19.50
6	R2D	Pasir lanauan	-29.00	-25.00
7	R2E	Pasir lanauan	-19.00	-15.00
8	R2F	Pasir lanauan	-40.00	-36.00
9	R2G	Lempung pasiran	-16.00	-12.00
10	R3A	Pasir lanauan	-20.00	-16.00
11	R3B	Pasir lanauan	-18.00	-14.00
12	R3C	Pasir lanauan	-26.00	-22.00
13	R3D	Pasir lanauan	-27.00	-23.00
14	R3E	Pasir lanauan	-19.00	-15.00
15	R3F	Pasir lanauan	-26.65	-22.65
16	R3G	Lempung pasiran	-15.35	-11.35
17	R4A	Pasir lanauan	-18.00	-14.00
18	R4B	Pasir lanauan	-21.00	-17.00
19	R4C	Pasir lanauan	-18.00	-14.00
20	R4D	Pasir lanauan	-18.00	-14.00
21	R4E	Pasir lanauan	-18.00	-14.00
22	R4F	Pasir lanauan	-17.00	-13.00
23	R4G	Lempung pasiran	-15.00	-11.00
24	R5A	Lempung pasiran	-16.50	-12.50

No.	Titik Pengukuran	Satuan batuan Berdasarkan hasil diskripsi	Matric suction hasil Pengukuran (Ψ) (CB)	Matric suction setelah dikoreksi (Ψ) (CB)
25	R5B	Lempung pasiran	-17.00	-13.00
26	R5C	Pasir lanauan	-27.00	-23.00
27	R5D	Pasir lanauan	-15.00	-11.00
28	R5E	Pasir lanauan	-16.00	-12.00
29	R5F	Lempung pasiran	-19.00	-15.00
30	R5G	Lempung pasiran	-18.50	-14.50
31	R6A	Pasir lanauan	-15.00	-11.00
32	R6B	Pasir lanauan	-15.00	-11.00
33	R6C	Lempung pasiran	-17.00	-13.00
34	R6D	Lempung pasiran	-16.00	-12.00
35	R6E	Lempung pasiran	-16.75	-12.75
36	R6F	Lempung pasiran	-19.40	-15.40
37	R6G	Lempung Pasiran	-16.25	-12.25

Keterangan:

Matric suction diambil dalam satuan centibar (CB). 1 CB = 10,2 cm kolom air.

Dari Tabel 4.1 di atas terlihat bahwa nilai matric suction terbesar adalah -36 CB, terdapat pada titik R2F pada pasir lanauan. Sedangkan matric suction terkecil adalah -11 CB, terdapat pada titik R4G (lempung pasiran), R5D (pasir lanauan), R6B (pasir lanauan) dan R6A (pasir lanauan). Dengan melihat rentangan nilai matric suction maksimum dan minimum terhadap kaitannya dengan jenis batuan hasil diskripsi di atas, terlihat bahwa nilainya sangat bervariasi dan tidak beraturan. Di titik R2F, pasir lanauan menunjukkan nilai matric suction yang tinggi (-36 CB), sedangkan titik R6B dengan litologi yang sama, menunjukkan nilai matric suction rendah (-11 CB). Dapat dikatakan bahwa litologi yang sama dapat memiliki nilai suction yang berbeda, dan litologi yang berbeda dapat memiliki nilai matric suction yang sama.

B. Uji Laboratorium

Parameter fisik tanah yang diuji di laboratorium adalah: besar butir, kadar air dan konduktivitas hidrolis jenuh. Hasil analisis besar butir yang diperoleh di laboratorium (Lampiran 1), dikelompokkan berdasarkan pada persentase kelolosan dari ayakan nomor 4 sampai < 200 . Dari hasil pengelompokkan tersebut (lihat Lampiran 2) didapatkan 5 kelompok ukuran besar butir yang terdiri dari: (1) *very coarse sand*, (2) *coarse sand*, (3) *medium sand*, (4) *fine sand* dan (5) *silt & clay*. Hasil uji laboratorium tersebut disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji Laboratorium Untuk Parameter Besar Butir, Kadar Air dan Konduktivitas Hidrolik Jenuh

No.	Kode	Kedalaman (m)	Kelompok ukuran besar butir (%lolos)					Kadar air (% berat)	Konduktivitas hidrolik jenuh (cm/det)
			VCS	CS	MS	FS	S&C		
1	R1D	1,35	28.76	37.12	11.52	8.64	13.96	9.420	1.145E-05
		2,35	29.80	33.40	12.08	10.60	14.12	12.440	2.942E-04
		3,35	Contoh tanah rusak, tidak dilakukan pengujian, kedalaman 4,0 m ditemukan m.a.t, pemboran mencapai 4,35 meter.						
		4,35							
2	R1E	1,35	2.28	25.20	19.56	16.88	36.08	16.070	1.938E-03
		2,35	5.72	27.20	18.32	16.24	32.52	15.190	6.865E-05
		3,35	22.40	39.84	19.72	9.72	13.92	12.750	2.375E-05
		4,35	Contoh tidak diambil, kedalaman 3,75 m ditemukan m.a.t, pemboran 4,35 m						
3	R1F	1,35	0.32	18.88	21.96	20.80	38.04	17.690	Tidak ada rembesan
		2,35	1.12	16.36	14.60	19.28	48.64	21.680	Tidak ada rembesan
		3,35	3.56	31.36	29.08	15.52	8.48	14.460	2.508E-07
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah rusak, tidak dilakukan pengujian						
4	R2B	1,35	18.48	24.48	16.96	16.40	23.32	21.650	7.862E-05
		2,35	8.16	12.28	17.20	21.64	40.72	16.960	8.793E-08
		3,35	0.00	0.28	0.44	1.32	97.96	34.730	Tidak ada rembesan
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
5	R2C	1,35	0.20	15.64	26.52	25.04	32.60	15.840	1.603E-06
		2,35	0.08	13.76	23.60	27.44	35.12	14.760	2.673E-08
		3,35	0.00	1.36	2.60	26.00	70.04	27.440	2.151E-08
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
6	R2D	1,35	18.48	24.84	16.96	16.40	23.32	11.300	1.040E-06
		2,35	41.20	29.45	7.04	10.88	11.08	Contoh tanah rusak	
		3,35	0.00	0.12	0.40	0.48	99.00	47.640	Tidak ada rembesan
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
7	R2E	1,35	2.24	23.84	17.44	20.00	40.48	18.120	3.264E-05
		2,35	7.80	37.28	19.64	13.88	21.40	13.040	6.619E-07
		3,35	13.36	44.08	21.80	8.80	11.90	Contoh rusak	
		4,35	Contoh tidak diambil, kedalaman 3,40 ditemukan m.a.t, pemboran 4,35 m.						
8	R2F	1,35	0.84	24.80	25.44	24.24	24.68	7.570	2.815E-03
		2,35	0.08	11.84	18.12	28.48	40.76	23.390	2.193E-06
		3,35	0.24	11.50	14.52	13.92	45.28	23.050	3.919E-07
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
9	R2G	1,35	1.00	3.12	5.32	22.36	68.20	25.890	Tidak ada rembesan
		2,35	0.00	4.88	11.08	25.12	58.92	23.610	Tidak ada rembesan
		3,35	0.00	1.60	4.52	16.72	77.16	28.780	Tidak ada rembesan
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
10	R3A	1,35	0.04	11.4	28.68	29.68	30.2	17.430	4.525E-07
		2,35	0.04	10.44	25.48	27.6	36.44	17.110	1.952E-07
		3,35	0.68	16.76	34.28	22.88	25.4	19.090	1.563E-07
		4,35	0.44	5.08	37.36	30.24	26.88	14.810	4.370E-07

No.	Kode	Kedalaman (m)	Kelompok ukuran besar butir (%lolos)					Kadar air (% berat)	Konduktivitas hidrolik jenuh (cm/det)
			VCS	CS	MS	FS	S&C		
11	R3B	1,35	0.20	7.76	22.28	31.36	38.40	19.340	2.494E-07
		2,35	1.40	9.84	15.92	26.12	46.72	22.680	1.973E-06
		3,35	3.48	11.68	19.52	29.52	35.80	27.340	Tidak ada rembesan
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
12	R3C	1,35	0.08	13.52	26.52	27.72	32.16	15.390	1.269E-03
		2,35	0.48	9.84	22.96	28.72	37.20	15.200	2.482E-06
		3,35	0.08	4.92	11.80	15.52	67.68	29.980	2.161E-07
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
13	R3D	1,35	2.28	24.36	19.64	16.76	36.96	15.210	1.479E-05
		2,35	12.20	30.56	21.92	15.24	20.08	12.720	5.652E-07
		3,35	2.12	11.92	18.72	13.36	53.88	15.670	1.698E-04
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah rusak, tidak dilakukan pengujian						
14	R3E	1,35	0.56	17.28	21.48	22.76	37.92	18.590	1.865E-06
		2,35	3.48	23.44	12.52	14.24	46.32	21.310	Tidak ada rembesan
		3,35	13.72	48.36	9.28	9.00	19.64	12.100	8.232E-07
		4,35	0.12	1.52	2.00	1.52	94.84	42.560	Tidak ada rembesan
15	R3F	Contoh tanah rusak, tidak dilakukan pengujian, pemboran dilakukan sampai 4,35 meter.							
16	R3G	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 4,35 meter							
17	R4A	1,35	0.04	9.64	28.96	28.16	33.20	18.680	Tidak ada rembesan
		2,35	0.28	9.72	27.32	26.60	36.08	21.620	2.935E-05
		3,35	0.60	9.60	28.92	27.44	33.44	18.870	Tidak ada rembesan
		4,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 4,35 m						
18	R4B	1,35	0.20	8.44	22.24	30.68	38.44	16.400	1.183E-07
		2,35	0.28	7.92	21.64	27.92	42.24	19.520	1.161E-06
		3,35	0.24	10.40	26.32	31.36	31.72	18.650	4.394E-08
		4,35	0.72	9.60	34.60	25.64	29.44	17.600	2.361E-07
19	R4C	1,35	0.08	9.76	24.60	26.16	39.40	18.650	Tidak ada rembesan
		2,35	0.16	12.16	23.96	23.96	39.76	18.320	
		3,35	0.12	9.24	21.32	26.12	43.20	19.310	
		4,35	0.80	11.04	20.48	28.32	39.36	20.000	
20	R4D	1,35	1.48	18.32	17.12	16.84	46.24	20.010	4.830E-08
		2,35	12.40	36.48	14.28	12.24	24.60	14.900	1.629E-03
		3,35	14.24	39.32	16.60	8.84	21.00	15.040	1.576E-03
		4,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 4,35 m						
21	R4E	1,35	1.52	17.40	14.96	13.56	12.56	20.380	Tidak ada rembesan
		2,35	6.76	11.56	5.56	6.36	69.76	30.300	
		3,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran hanya mencapai 3,35 m						
22	R4F	1,35	0.44	9.48	17.56	20.80	51.72	22.790	Tidak ada rembesan
		2,35-4,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 4,35 m						
23	R4G	1,35	0.04	0.28	0.96	3.92	94.80	33.300	Tidak ada rembesan
		2,35-4,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 4,35 m						
24	R5A	1,35	7.56	8.12	14.76	20.56	49.00	22.830	7.847E-07
		2,35-4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah hancur, tidak dilakukan pengujian						

No.	Kode	Kedalaman (m)	Kelompok ukuran besar butir (%lolos)					Kadar air (% berat)	Konduktivitas hidrolis jenuh (cm/det)
			VCS	CS	MS	FS	S&C		
25	R5B	1,35	0.28	8.40	23.00	27.48	40.84	22.490	Tidak ada rembesan
		2,35	0.60	8.20	22.52	27.60	41.08	18.330	
		3,35	10.80	13.24	23.24	19.36	33.36	18.150	2.399E-07
		4,35	Contoh tidak diambil, kedalaman 3,40 ditemukan m.a.t., pemboran 4,35 m.						
26	R5C	2,35	0.12	14.56	30.04	30.48	24.80	12.080	2.466E-05
		2,35	0.08	10.24	25.52	23.52	40.76	28.340	Tidak ada rembesan
		3,35	0.04	9.52	21.00	22.24	47.20	17.710	
		4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
27	R5D	1,35	12.84	8.68	3.96	7.40	67.12	30.630	Tidak ada rembesan
		2,35-4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
28	R5E	1,35	3.04	19.40	28.48	20.92	28.16	23.390	3.337E-08
		2,35	0.20	2.96	2.64	2.68	91.52	36.600	Tidak ada rembesan
		3,35-4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
29	R5F	1,35	0.48	9.32	17.04	30.08	43.08	18.560	Tidak ada rembesan
		2,35-4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
30	R6A	1,35	0.88	4.64	7.48	6.00	81.00	Contoh tanah rusak	
		2,35-4,35	Contoh tidak diambil, kedalaman 1,25 m ditemukan m.a.t. pemboran 4,35 m.						
31	R6B	1,35	0.00	7.52	33.00	29.16	75.80	36.300	Tidak ada rembesan
		2,35-4,35	Contoh tidak diambil, kedalaman 1,25 m ditemukan m.a.t. pemboran 4,35 m.						
32	R6C	1,35	0.40	10.00	20.76	21.84	47.00	22.740	Tidak ada rembesan
		2,35-4,35	Pemboran mencapai 4,35 m, contoh tanah tidak diambil						
33	R6D	1,35	1.56	12.60	11.08	13.64	61.12	27.980	Tidak ada rembesan
		2,35-4,35	Contoh tanah tidak diambil						
34	R6E	1,35-4,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 4,35 m						
35	R6F	1,35-3,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 3,35 m						
36	R6G	1,35-4,35	Contoh tanah tidak diambil, pemboran mencapai 4,35 m						

Keterangan: VCS: *Very coarse sand*; CS: *Coarse sand*; MS: *Medium sand*
 FS: *Fine sand*; S&C: *Silt dan clay*; m.a.t.: muka air tanah

Dari Tabel 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa untuk pasir lanauan, harga konduktivitas hidrolis jenuh pada kedalaman 1,35 meter, memiliki rentangan nilai antara $1,34\%10^{-3}$ cm/detik dan $4,8\%10^{-8}$ cm/detik. Kelihatan bahwa litologi yang sama dapat memiliki nilai konduktivitas hidrolis jenuh yang berbeda, dan litologi yang berbeda dapat memiliki nilai konduktivitas hidrolis jenuh yang sama.



C. Hubungan *Matric Suction* dengan Kadar Air, Konduktivitas Hidrolik Jenuh, dan Besar Butir pada Kedalaman 0 – 1,35 meter

Dari hasil pemerian *cutting* terlihat bahwa untuk setiap titik pemboran, tanah pada kedalaman 0 – 1,35 meter memiliki jenis yang seragam. Berdasarkan pada hal tersebut, hasil pengukuran *matric suction* pada kedalaman 40 cm dianggap dapat mewakili nilai *matric suction* pada kedalaman 0 – 1,35 meter. Selanjutnya, berdasarkan pada kajian teori, *matric suction* pada zona tidak jenuh mempunyai kedekatan hubungan dengan variabel kadar air, konduktivitas hidrolik jenuh dan besar butir. Oleh karena itu untuk menduga nilai *matric suction* pada kedalaman 1,35 – 4,35 meter, dilakukan pendekatan analisis regresi linier berganda antar variabel-variabel tersebut di atas.

1. Analisis Regresi Linier Berganda

Hasil analisis regresi linier berganda antara *matric suction* sebagai variabel *dependent* dengan kadar air, konduktivitas hidrolik jenuh dan besar butir sebagai variabel *independent* pada kedalaman 0 – 1,35 meter, disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil analisis regresi linier berganda antara *matric suction* vs. kadar air, konduktivitas hidrolik jenuh dan besar butir pada kedalaman 0 - 1,35 meter.

Regression Summary for Dependent Variable: Matric Suction						
R= .97659165		R²= .95373125		Adjusted R²= .91774444		
F(7,9)=26.502		p<.00003		Std.Error of estimate: 1.8315		
N=17	BETA	St. Err.Of BETA	B	St. Err. of B	t(9)	p-level
Intercept			-50.6181	62.9134	-0.8046	0.441803
Kadar Air (% berat)	0.9125	0.1262	1.2983	0.1796	7.2285	0.000049
Konduktivitas Hidrolik jenuh (m/det)	-0.2282	0.0974	-1754.3931	748.8364	-2.3428	0.043817
Very Coarse Sand (%)	0.0078	0.9740	0.0059	0.7332	0.0080	0.993778
Coarse Sand (%)	0.2905	0.6738	0.2353	0.5458	0.4311	0.676515
Medium Sand (%)	-0.1503	0.6853	-0.1772	0.8080	-0.2194	0.831264
Fine Sand (%)	0.4044	0.5676	0.3991	0.5601	0.7125	0.494224
Silt & Clay (%)	0.0597	0.9432	0.0421	0.6650	0.0633	0.950931

Dari Tabel 4.3 diketahui bahwa koefisien korelasi antara *matric suction* vs.kadar air, konduktivitas hidrolik jenuh dan besar butir, secara simultan adalah sebesar $r = 0,977$. Koefisien determinasi $R^2 = 0.954$. $F_{(hitung) 7,9} = 26,502$ dan $F_{(tabel) 7,9} = 3,29$ (Lihat lampiran 3). Perbandingan $F_{(hitung) 7,9}$ dengan $F_{(tabel) 7,9}$ pada selang kepercayaan

95%, menunjukkan bahwa $F_{(hitung) 8,8} > F_{(tabel) 8,8}$. Artinya model regresi linier berganda di atas dapat diterima dengan *significance* yang sangat tinggi. Dengan kata lain, kadar air, konduktivitas hidrolis jenuh dan besar butir, secara bersama-sama cenderung memberikan pengaruh yang sangat baik untuk pendugaan nilai *matric suction* pada kedalaman 1,35 meter hingga 4.35 meter. Bila dilihat dari harga *p-level*, semakin kecil *p-level* variabel tersebut semakin *significance*. Sesuai dengan urutannya, yang paling *significance* adalah variabel kadar air (0.000049) kemudian berturut-turut diikuti oleh variabel konduktivitas hidrolis jenuh (0.043817), *fine sand* (0.494224), *coarse sand* (0.676515), *medium sand* (0.831264), *silt & clay* (0.950931) dan *very coarse sand* (0.993778). Berdasarkan pada hasil analisis di atas, maka dapat disusun model persamaan peramal linier berganda sebagai berikut:

$$\Psi = - 50.6181 + 1.2983(\theta) - 1754.3931(K) + 0.0059(VCS) + 0.2353(CS) - 0.1772(MS) + 0.3991(FS) + 0.0421(S\&C).....(4.1)$$

dimana: Ψ adalah *matric suction*, θ kadar air, K konduktivitas hidrolis jenuh, VCS *very coarse sand*, CS *coarse sand*, MS *medium sand*, FS *fine sand* dan S&C *silt dan clay*.

2. Analisis Regresi Linier Sederhana (Bivariate)

Pengaruh tunggal masing-masing variabel terhadap *matric suction* pada regresi linier berganda (dari Tabel 4.3), disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Korelasi masing-masing variabel dari analisis regresi linier berganda antara *matric suction* vs. kadar air, konduktivitas hidrolis dan besar butir.

Variabel	Kadar Air (% berat)	Konduktivitas Hidrolis Jenuh (Cm/det)	Very Coarse Sand (%)	Coarse Sand (%)	Medium Sand (%)	Fine Sand (%)	Silt & Clay (%)
Kadar Air (% berat)							
Konduktivitas Hidrolis Jenuh	-0.4555						
Very Coarse Sand (%)	-0.2266	-0.2023					
Coarse Sand (%)	-0.4699	0.2248	0.6570				
Medium Sand (%)	-0.0397	0.1838	-0.6844	-0.4761			
Fine Sand (%)	0.0743	0.0305	-0.7283	-0.8315	0.7682		
Silt & Clay (%)	0.5990	-0.1480	-0.5922	-0.5910	-0.1100	0.2253	
Matric Suction (%)	0.9499	-0.6043	-0.1889	-0.4845	-0.0681	0.1160	0.5714

Secara parsial, masing-masing variabel memberikan korelasi yang cukup bervariasi terhadap *matric suction* (lihat Tabel 4.4 yang dicetak miring). Variabel yang paling berpengaruh dan memberikan kontribusi paling besar terhadap *matric suction* adalah: kadar air ($r = 0,9499$) kemudian diikuti oleh variabel konduktivitas hidrolik jenuh ($r = -0,6043$), *silt & clay* ($r = 0,5714$), *coarse sand* ($r = - 0,4845$), *very coarse sand* ($r = - 0,1889$), *fine sand* ($r = - 0,1160$) dan *medium sand* ($r = - 0,0681$).

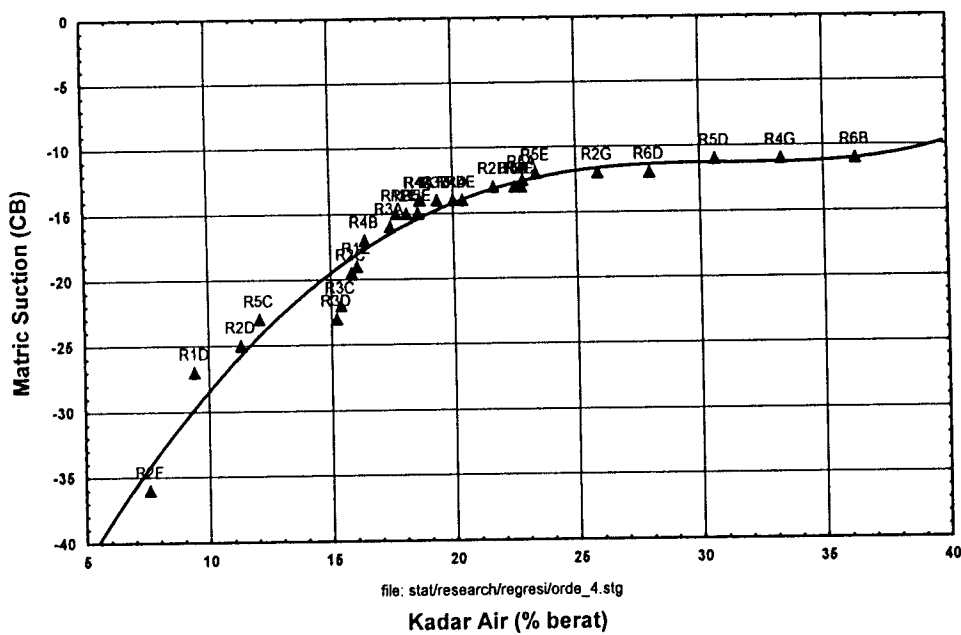
3. Analisis Regresi Non Linier Sederhana

Model regresi yang digunakan pada bagian ini adalah regresi non linier polinomial dengan orde n. Model ini dipilih karena harga r yang dihasilkan lebih baik bila dibandingkan dengan model regresi linier ataupun regresi non linier lainnya yang ada pada Statistica Versi 5,0.

a. Hubungan *Matric Suction* Vs. Kadar Air

Hasil analisis regresi non linier (model polinomial orde n) hubungan antara *matric suction* vs. kadar air untuk orde dua $r_2 = 0.96923$, orde tiga $r_3 = 0.9749$ dan orde empat $r_4 = 0.97506$. Untuk orde lima harga koefisien b_5 mendekati nol dan harga r_5 tidak menunjukkan perbedaan yang berarti dengan r_4 . Pada analisis regresi non linier yang lain (model logaritma), diperoleh harga $r = 0,926$. Dari hasil analisis tersebut (lihat Gambar 4.3) terlihat bahwa regresi non linier polinomial orde empat menghasilkan harga r paling besar dengan model persamaan peramal sebagai berikut:

Model : $Matric\ Suction = b_0 + b_1\theta + b_2\theta^2 + b_3\theta^3 + b_4\theta^4$
 $\Psi(\theta) = (-58.3627) + (3.7779)\theta + (-0.0739)\theta^2 + (-0.00071)\theta^3 +$
 $(2.38E-05)\theta^4 \dots\dots\dots(4.2)$
 $r_4 = 0.97506$



Gambar 4.3. Grafik Hubungan *Matric Suction* vs. Kadar Air pada Kedalaman 0 – 1,35 meter.

Dari hasil uji statistik diketahui bahwa koefisien determinasi pada model di atas adalah: $R^2 = 0.950742$. $F_{(hitung)} 1,28 = 59,031$ dan $F_{(tabel)} 1,28 = 4,20$ (Lihat lampiran 3). Perbandingan $F_{(hitung)} 1,28$ dengan $F_{(tabel)} 1,28$ pada selang kepercayaan 95%, menunjukkan bahwa $F_{(hitung)} 1,28 > F_{(tabel)} 1,28$. Berarti model regresi di atas mempunyai akurasi pendugaan yang sangat baik dan dapat diterima dengan *significance* sangat tinggi.

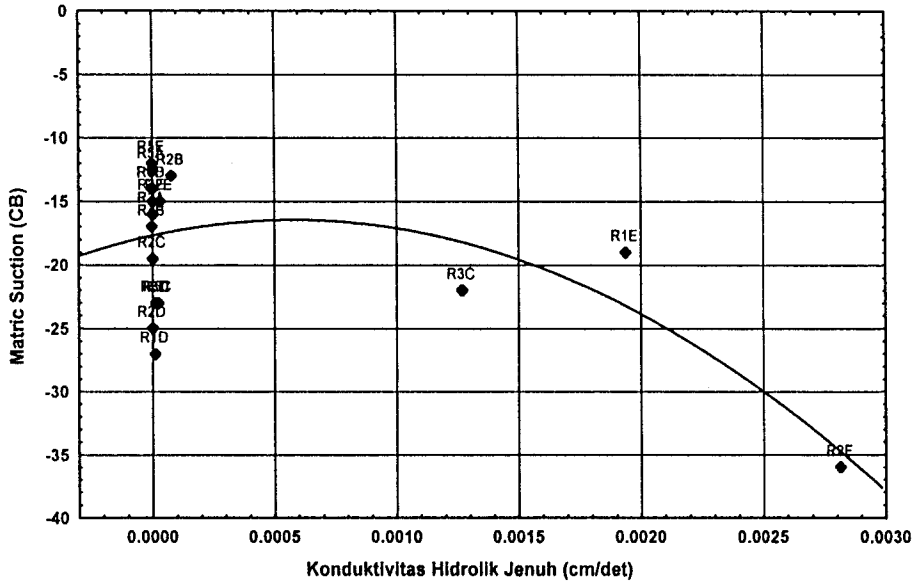
b. Hubungan *Matric Suction* Vs. Konduktivitas Hidrolik Jenuh

Hasil analisis regresi non linier (model polinomial orde n) hubungan antara *matric suction* vs. konduktivitas hidrolik jenuh untuk orde dua, tiga, empat dan seterusnya, memiliki harga r yang sama sebesar 0.67066. Untuk orde satu harga $r_1 = 0.604$. Pada analisis regresi non linier yang lain (model logaritma), diperoleh harga $r = 0,578$. Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa regresi non linier polinomial orde dua menghasilkan harga r paling besar (Gambar 4.4) dengan model persamaan peramal sebagai berikut:

Model: $\Psi(K) = b_0 + b_1K + b_2K^2$

$$\Psi(K) = (-17.6779) + (4232.002)K + (-3659999)K^2 \dots\dots\dots(4.3)$$

$$r_2 = 0.67066$$



Gambar 4.4. Grafik Hubungan *Matric Suction* vs. Konduktivitas Hidrolik Jenuh.

Dari hasil uji statistik diketahui bahwa koefisien korelasi antara *matric suction* vs. konduktivitas hidrolik jenuh sebesar $r = 0,67066$. Koefisien determinasi $R^2 = 0.4498948$. $F_{(hitung) 1,15} = 8.63$ dan $F_{(tabel) 1,15} = 4,54$ (Lihat lampiran 3). Perbandingan $F_{(hitung) 1,15}$ dengan $F_{(tabel) 1,15}$ pada selang kepercayaan 95%, menunjukkan bahwa $F_{(hitung) 1,15} > F_{(tabel) 1,15}$. Berarti model regresi di atas mempunyai akurasi pendugaan yang cukup baik dan dapat diterima dengan *significance* cukup tinggi.

c. Hubungan *Matric Suction* Vs. Besar Butir

Hubungan *matric suction* dengan besar butir (*very coarse sand, coarse sand, medium sand, fine sand dan silt & clay*) pada kedalaman 0 – 1,35 meter diuraikan sebagai berikut:

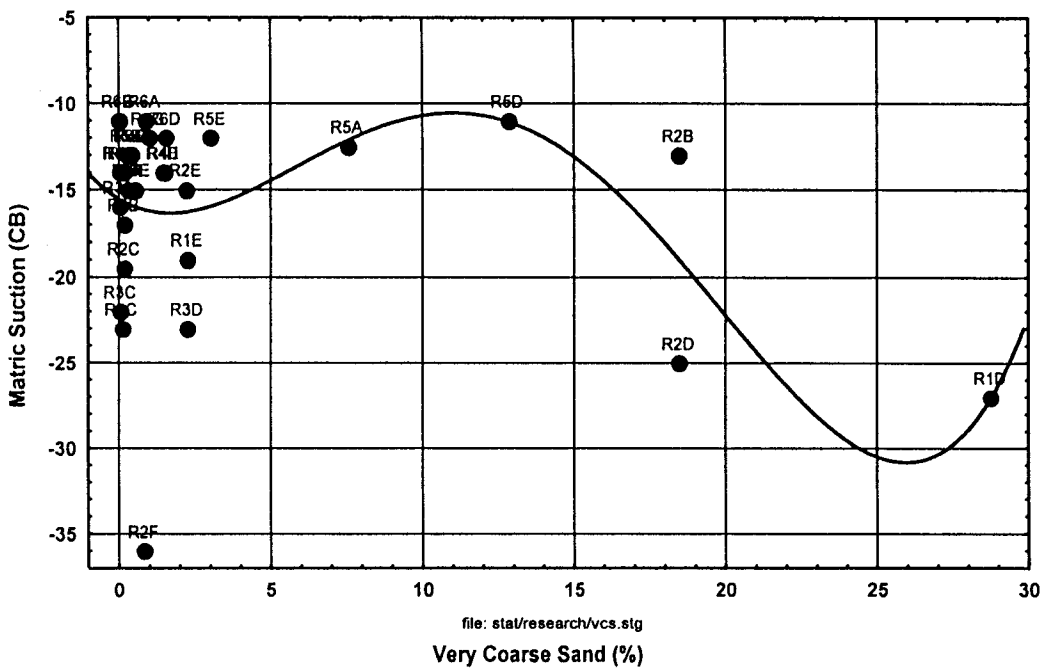
1) Hubungan *Matric Suction* Vs. *Persentase Very Coarse Sand*

Hasil analisis regresi non linier (model polinomial orde n) hubungan antara *matric suction* vs. *persentase very coarse sand* untuk orde dua $r_2 = 0.3870$, orde tiga $r_3 = 0.3872$ dan orde empat $r_4 = 0.4283$. Pada analisis regresi non linier yang lain (model logaritma), diperoleh harga $r = 0,364$. Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa regresi non linier polinomial orde empat menghasilkan harga r paling besar (lihat Gambar 4.5) dengan model persamaan peramal sebagai berikut:

$$\text{Model: Matric Suction} = b_0 + b_1\text{VCS} + b_2\text{VCS}^2 + b_3\text{VCS}^3 + b_4\text{VCS}^4$$

$$\Psi(\text{VCS}) = (-15.5172) + (-1.0546)\text{VCS} + (0.3802)\text{VCS}^2 + (-0.0281)\text{VCS}^3 + (0.0005)\text{VCS}^4 \dots\dots\dots (4.4)$$

$r = 0.42834$

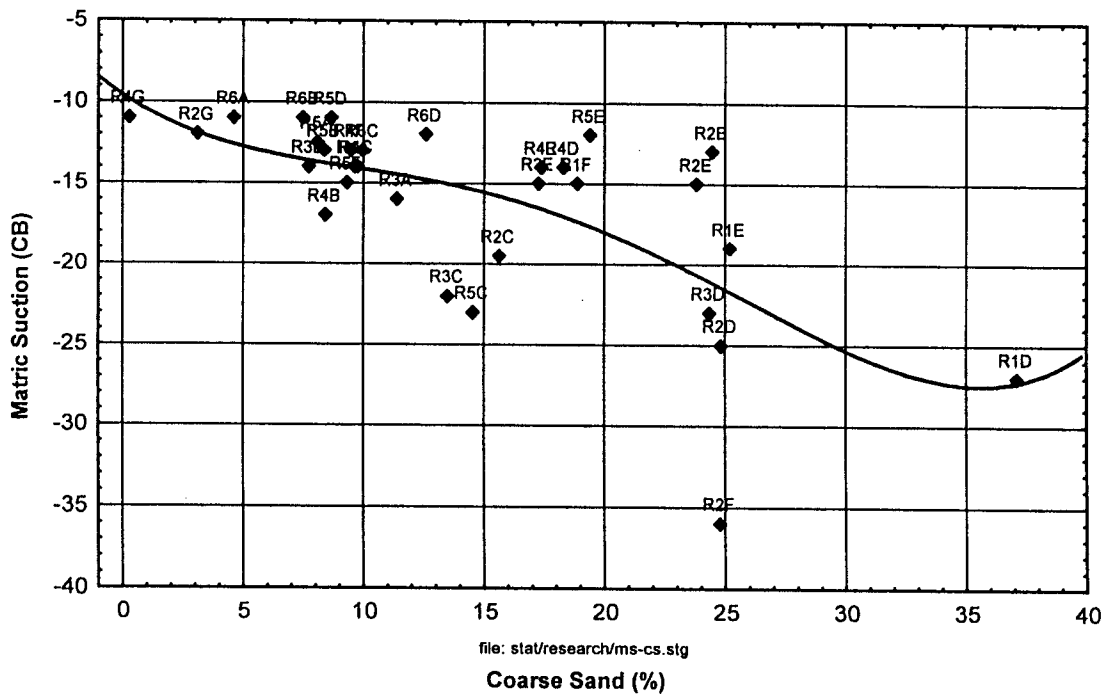


Gambar 4.5. Grafik Hubungan *Matric Suction* vs. *Persentase Very Coarse Sand*.

2) Hubungan *Matric Suction* Vs. *Persentase Coarse Sand*

Hasil analisis regresi non linier (model polinomial orde n) hubungan antara *matric suction* vs. *persentase coarse sand* untuk orde dua $r_2 = 0.65155$, orde tiga $r_3 = 0.65169$ dan orde empat $r_4 = 0.65679$. Pada analisis regresi non linier yang lain (model logaritma), diperoleh harga $r = 0,495$. Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa regresi non linier polinomial orde empat menghasilkan harga r paling besar (lihat Gambar 4.6) dengan model persamaan peramal sebagai berikut:

Model: $Matric\ Suction = b_0 + b_1CS + b_2CS^2 + b_3CS^3 + b_4CS^4$
 $\Psi(CS) = (-9.56661) + (-0.99671)CS + (0.091933)CS^2 + (-0.0044)CS^3 + (6.19E-05)CS^4 \dots\dots\dots(4.5)$
 $r_5 = 0.65679$



Gambar 4.6. Grafik Hubungan *Matric Suction* vs. *Persentase Coarse Sand*

3) Hubungan *Matric Suction* Vs. *Persentase Medium Sand*

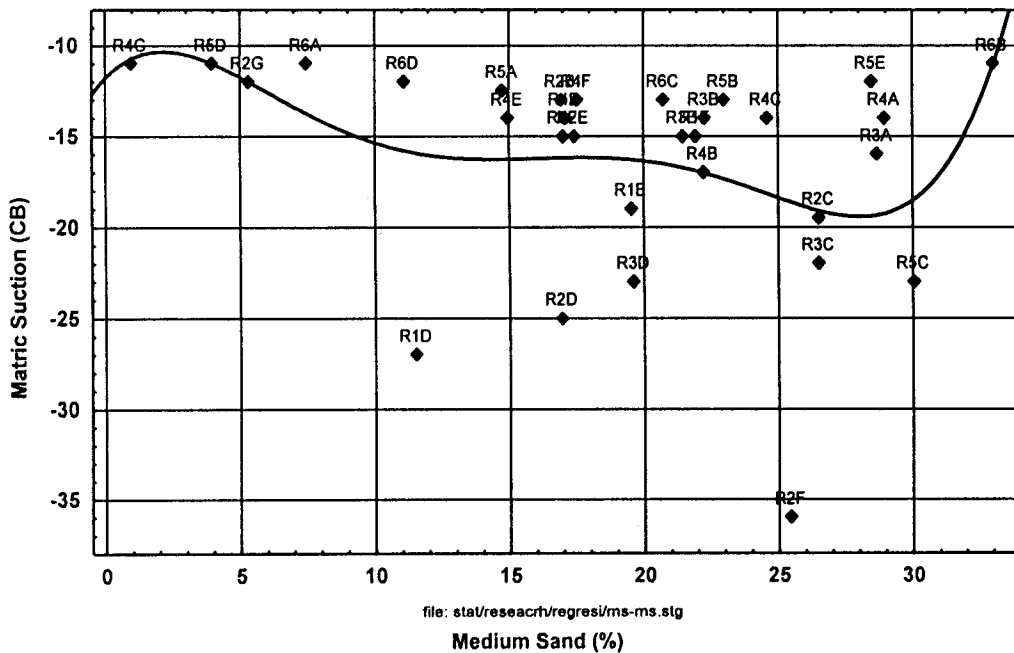
Hasil analisis regresi non linier (model polinomial orde n) antara *matric suction* vs. *persentase medium sand* untuk orde dua $r_2 = 0.33005$, orde tiga $r_3 = 0.3478$ dan orde empat $r_4 = 0.38153$ dan orde lima $r_5 = 0.41380$. Pada analisis

regresi non linier yang lain (model logaritma), diperoleh harga $r = 0,30$. Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa regresi non linier polinomial orde lima menghasilkan harga r paling besar (lihat Gambar 4.7) dengan model persamaan peramal sebagai berikut:

$$\text{Model: Matric Suction} = b_0 + b_1MS + b_2MS^2 + b_3MS^3 + b_4MS^4 + b_5MS^5$$

$$\Psi(MS) = (-11,7751) + (1.5107)MS + (-0.4764)MS^2 + (0.0424)MS^3 + (-0.0015)MS^4 + (1.98E-05)MS^5 \dots\dots\dots(4.6)$$

$$r_5 = 0.41380$$



Gambar 4.7. Grafik Hubungan *Matric Suction* vs. *Persentase Medium Sand*.

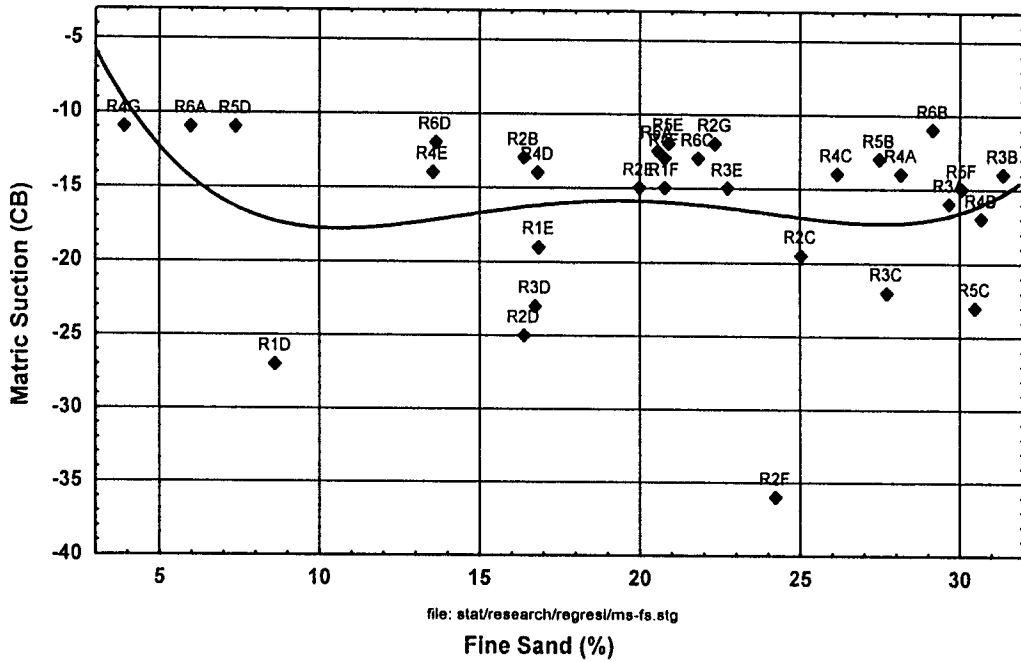
4) Hubungan *Matric Suction* Vs. *Persentase Fine Sand*

Hasil analisis regresi non linier (model polinomial orde n) hubungan antara *matric suction* vs. *persentase fine sand* untuk orde dua $r_2 = 0.16219$, orde tiga $r_3 = 0.19038$, orde empat $r_4 = 0.25391$ dan orde lima $r_5 = 0.25423$. Pada analisis regresi non linier yang lain (model logaritma), diperoleh harga $r = 0,153$. Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa regresi non linier polinomial orde lima menghasilkan harga r paling besar (lihat Gambar 4.8) dengan model persamaan peramal sebagai berikut:

Model: $Matric\ Suction = b_0 + b_1FS + b_2FS^2 + b_3FS^3 + b_4FS^4 + b_5FS^5$

$$\Psi(FS) = (9.1339) + (-6.6081)FS + (0.5433)FS^2 + (-0.0159)FS^3 + (3.85E-05)FS^4 + (3.32E-06)FS^5 \dots\dots\dots(4.7)$$

$r = 0.25423$



Gambar 4.8: Grafik Hubungan *Matric Suction* vs. *Persentase Fine Sand*.

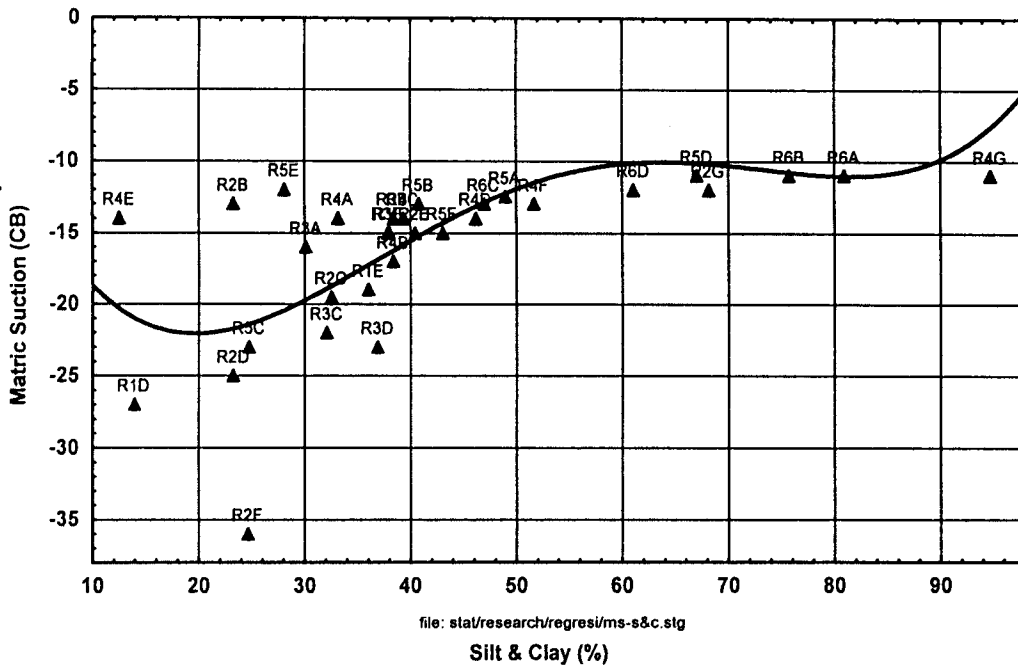
5) Hubungan *Matric Suction* VS. *Persentase Silt dan Clay*

Hasil analisis regresi non linier (model polinomial orde n) hubungan antara *matric suction* vs. *persentase silt & clay* untuk orde dua $r_2 = 0.60942$, orde tiga $r_3 = 0.61856$ dan orde empat $r_4 = 0.65251$. Pada analisis regresi non linier yang lain (model logaritma), diperoleh harga $r = 0,585$. Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa regresi non linier polinomial orde empat menghasilkan harga r paling besar (lihat Gambar 4.9) dengan model persamaan peramal sebagai berikut:

Model: $Matric\ Suction = b_0 + b_1SC + b_2SC^2 + b_3SC^3 + b_4SC^4$

$$\Psi(SC) = (-4.6852) + (-2.1295)SC + (-0.083928)SC^2 + (-0.00114)SC^3 + (5.16E-06)SC^4 \dots\dots\dots(4.8)$$

$r_4 = 0.65251$



Gambar 4.9. Grafik Hubungan *Matrix Suction* vs. Persentase *Silt* dan *Clay*

Dengan membandingkan hasil analisis di atas, ternyata model analisis regresi linier berganda mempunyai akurasi pendugaan yang sangat baik untuk meramal nilai *matrix suction* sebagai fungsi kadar air, konduktivitas hidrolis jenuh dan besar butir, dengan $r = 0.977$ dan $R^2 = 0.954$. Dengan demikian, persamaan peramal linier berganda (persamaan 4.1) dapat digunakan sebagai dasar perhitungan potensial hidrolis di daerah penelitian.

Pengaruh tunggal masing-masing variabel, baik pada analisis regresi linier sederhana maupun analisis non linier sederhana, ternyata yang paling berpengaruh terhadap *matrix suction* adalah variabel kadar air. Akan tetapi pengaruh kadar air terhadap *matrix suction* pada analisis non linier sederhana (model polinomial orde empat), lebih besar bila dibandingkan dengan analisis linier sederhana maupun analisis non linier sederhana lainnya (model logaritma). Dengan kata lain untuk meramal *matrix suction* sebagai fungsi kadar air di daerah penelitian, lebih baik menggunakan model persamaan peramal analisis non linier polinomial orde empat (lihat persamaan 4.2).

D. Perhitungan Potensial Hidrolik.

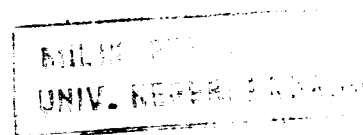
Penggambaran potensial hidrolik dilakukan pada empat kedalaman. Pada kedalaman 1,35 meter digunakan hasil pengukuran, sedangkan pada kedalaman 2,35; 3,35 dan 4,35 meter dihitung berdasarkan hasil pendugaan *matric suction* yang telah diuraikan pada bagian 4.3. Proses perhitungan potensial hidrolik diuraikan sebagai berikut:

1. Pendugaan Matric Suction

Hasil pendugaan *matric suction* sebagai fungsi kadar air, konduktivitas hidrolik jenuh dan besar butir, disajikan pada **Tabel 4.5.**

Tabel 4.5. Hasil Pendugaan *Matric Suction* Sebagai Fungsi Kadar Air, Konduktivitas Hidrolik Jenuh dan Besar Butir Berdasarkan Persamaan 4.1.

No.	No. kode	Kedalaman (m)	Matric suction hasil pengukuran (cb)	Kadar air (% berat)	Konduktivitas hidrolik jenuh (cm/detik)	Besar butir					Hasil pendugaan matric suction berdasarkan persamaan 4.1 (cb)
						VFG (%)	CS (%)	MS (%)	FS (%)	S&C (%)	
1	R1D	1,35	-27.00	9.420	1.145E-05	28.76	37.12	11.52	8.64	13.96	
		2,35		12.440	2.942E-04	29.80	33.40	12.08	10.60	14.12	-24.264
2	R1E	1,35	-19.00	16.070	1.938E-03	2.28	25.20	19.56	16.88	36.08	
		2,35		15.190	6.865E-05	5.72	27.20	18.32	16.24	32.52	-19.979
		3,35		12.750	2.375E-05	22.40	39.84	19.72	9.72	13.92	-23.629
3	R1F	1,35	-15.00	17.690		0.32	18.88	21.96	20.80	38.04	
		2,35		21.680		1.12	16.36	14.60	19.28	48.64	-11.460
		3,35		14.460	2.508E-07	3.56	31.36	29.08	15.52	8.48	-23.047
4	R2B	1,35	-13.00	21.650	7.862E-05	18.48	24.48	16.96	16.40	23.32	
		2,35		16.960	8.793E-08	8.16	12.28	17.20	21.64	40.72	-18.358
		3,35		34.730		0.00	0.28	0.44	1.32	97.96	-0.889
5	R2C	1,35	-19.50	15.840	1.603E-06	0.20	15.64	26.52	25.04	32.60	
		2,35		14.760	2.673E-08	0.08	13.76	23.60	27.44	35.12	-19.969
		3,35		27.440	2.151E-08	0.00	1.36	2.60	26.00	70.04	-1.808
6	R2D	1,35	-25.00	11.300	1.040E-06	18.48	24.84	16.96	16.40	23.32	
		2,35				41.20	29.45	7.04	10.88	11.08	-39.884
		3,35		47.640		0.00	0.12	0.40	0.48	99.00	15.550
7	R2E	1,35	-15.00	18.120	3.264E-05	2.24	23.84	17.44	20.00	40.48	
		2,35		13.040	6.619E-07	7.80	37.28	19.64	13.88	21.40	-21.911
		3,35				13.36	44.08	21.80	8.80	11.90	-40.017
8	R2F	1,35	-36.00	7.570	2.815E-03	0.84	24.80	25.44	24.24	24.68	
		2,35		23.390	2.193E-06	0.08	11.84	18.12	28.48	40.76	-7.597
		3,35		23.050	3.919E-07	0.24	11.50	14.62	13.92	45.28	-13.097



No.	No. kode	Kedalaman (m)	Matric suction hasil pengukuran (cb)	Kadar air (% berat)	Konduktivitas hidrolis Jenuh (cm/detik)	Besar butir					Hasil pendugaan matric suction berdasarkan persamaan 4.1 (cb)
						VFG (%)	CS (%)	MS (%)	FS (%)	S&C (%)	
9	R2G	1,35	-12.00	25.890		1.00	3.12	5.32	22.36	68.20	
		2,35		23.610		0.00	4.88	11.08	25.12	58.92	-8.274
		3,35		28.780		0.00	1.60	4.52	16.72	77.16	-3.756
10	R3A	1,35	-16.00	17.430	4.525E-07	0.04	11.4	28.68	29.68	30.2	
		2,35		17.110	1.952E-07	0.04	10.44	25.48	27.6	36.44	-17.914
		3,35		19.090	1.563E-07	0.68	16.76	34.28	22.88	25.4	-17.760
		4,35		14.810	4.370E-07	0.44	5.08	37.36	30.24	26.88	-23.613
11	R3B	1,35	-14.00	19.340	2.494E-07	0.20	7.76	22.28	31.36	38.40	
		2,35		22.680	1.973E-06	1.40	9.84	15.92	26.12	46.72	-9.282
		3,35		27.340		3.48	11.68	19.52	29.52	35.80	-2.524
12	R3C	1,35	-22.00	15.390	1.269E-03	0.08	13.52	26.52	27.72	32.16	
		2,35		15.200	2.482E-06	0.48	9.84	22.96	28.72	37.20	-19.610
		3,35		29.980	2.161E-07	0.08	4.92	11.80	15.52	67.68	-3.585
13	R3D	1,35	-23.00	15.210	1.479E-05	2.28	24.36	19.64	16.76	36.96	
		2,35		12.720	5.652E-07	12.20	30.56	21.92	15.24	20.08	-23.799
		3,35		15.670	1.698E-04	2.12	11.92	18.72	13.36	53.88	-23.471
14	R3E	1,35	-15.00	18.590	1.865E-06	0.56	17.28	21.48	22.76	37.92	
		2,35		21.310		3.48	23.44	12.52	14.24	46.32	-12.001
		3,35		12.100	8.232E-07	13.72	48.36	9.28	9.00	19.64	-20.676
		4,35		42.560		0.12	1.52	2.00	1.52	94.84	9.241
15	R4A	1,35	-14.00	18.680		0.04	9.64	28.96	28.16	33.20	
		2,35		21.620	2.935E-05	0.28	9.72	27.32	26.60	36.08	-13.018
		3,35		18.870		0.60	9.60	28.92	27.44	33.44	-16.622
16	R4B	1,35	-17.00	16.400	1.183E-07	0.20	8.44	22.24	30.68	38.44	
		2,35		19.520	1.161E-06	0.28	7.92	21.64	27.92	42.24	-14.326
		3,35		18.650	4.394E-08	0.24	10.40	26.32	31.36	31.72	-14.769
		4,35		17.600	2.361E-07	0.72	9.60	34.60	25.64	29.44	-20.164
17	R4C	1,35	-14.00	18.650		0.08	9.76	24.60	26.16	39.40	
		2,35		18.320		0.16	12.16	23.96	23.96	39.76	-16.980
		3,35		19.310		0.12	9.24	21.32	26.12	43.20	-14.908
		4,35		20.000		0.80	11.04	20.48	28.32	39.36	-12.719
18	R4D	1,35	-14.00	20.010	4.830E-08	1.48	18.32	17.12	16.84	46.24	
		2,35		14.900	1.629E-03	12.40	36.48	14.28	12.24	24.60	-22.084
		3,35		15.040	1.576E-03	14.24	39.32	16.60	8.84	21.00	-23.050
19	R4E	1,35	-14.00	20.380		1.52	17.40	14.96	13.56	12.56	
		2,35		30.300		6.76	11.56	5.56	6.36	69.76	-4.030
20	R4F	1,35	-13.00	22.790		0.44	9.48	17.56	20.80	51.72	
21	R4G	1,35	-11.00	33.300		0.04	0.28	0.96	3.92	94.80	
22	R5A	1,35	-12.50	22.830	7.847E-07	7.56	8.12	14.76	20.56	49.00	
23	R5B	1,35	-13.00	22.490		0.28	8.40	23.00	27.48	40.84	
		2,35		18.330		0.60	8.20	22.52	27.60	41.08	-16.133
		3,35		18.150	2.399E-07	10.80	13.24	23.24	19.36	33.36	-18.862

No.	No. kode	Kedalaman (m)	Matric suction hasil pengukuran (cb)	Kadar air (% berat)	Konduktivitas hidrolk jenuh (cm/detik)	Besar butir					Hasil pendugaan matric suction berdasarkan persamaan 4.1 (cb)
						VFG (%)	CS (%)	MS (%)	FS (%)	S&C (%)	
24	R5C	1,35	-23.00	12.080	2.466E-05	0.12	14.56	30.04	30.48	24.80	
		2,35		28.340		0.08	10.24	25.52	23.52	40.76	-4.834
		3,35		17.710		0.04	9.52	21.00	22.24	47.20	-18.243
25	R5D	1,35	-11.00	30.630		12.84	8.68	3.96	7.40	67.12	
26	R5E	1,35	-12.00	23.390	3.337E-08	3.04	19.40	28.48	20.92	28.16	
		2,35		36.600		0.20	2.96	2.64	2.68	91.52	2.052
27	R5F	1,35	-15.00	18.560		0.48	9.32	17.04	30.08	43.08	
28	R6A	1,35	-11.00			0.88	4.64	7.48	6.00	81.00	
29	R6B	1,35	-11.00	36.300		0.00	7.52	33.00	29.16	75.80	
30	R6C	1,35	-13.00	22.740		0.40	10.00	20.76	21.84	47.00	
31	R6D	1,35	-12.00	27.980		1.56	12.60	11.08	13.64	61.12	

excel/suction-5a/sheet-1

2. Prosedur Perhitungan

a) Head Suction

Head suction (h_c) merupakan konversi dari *matric suction* (dalam Centi Bar) ke dalam satuan meter tinggi kolom air dalam suatu tabung kapiler. (1 CB = 0,102 meter). Dalam Tabel 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 hasil konversi ini dimasukkan dalam kolom 5

b) Head Gravitasi

Head gravitasi (z) ditentukan berdasarkan posisi atau kedudukan titik pengamatan terhadap garis referensi standar (permukaan laut). Jadi $z = \text{elevasi muka tanah} - \text{kedalaman titik pengamatan}$. Dalam Tabel 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 nilai z dimasukkan dalam kolom 6.

c) Potensial Total

Head total dihitung melalui penjumlahan *head suction* dengan head gravitasi ($\text{head total} = \text{head suction} + \text{head gravitasi}$). Dalam Tabel 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 head total dimasukkan dalam kolom 7.

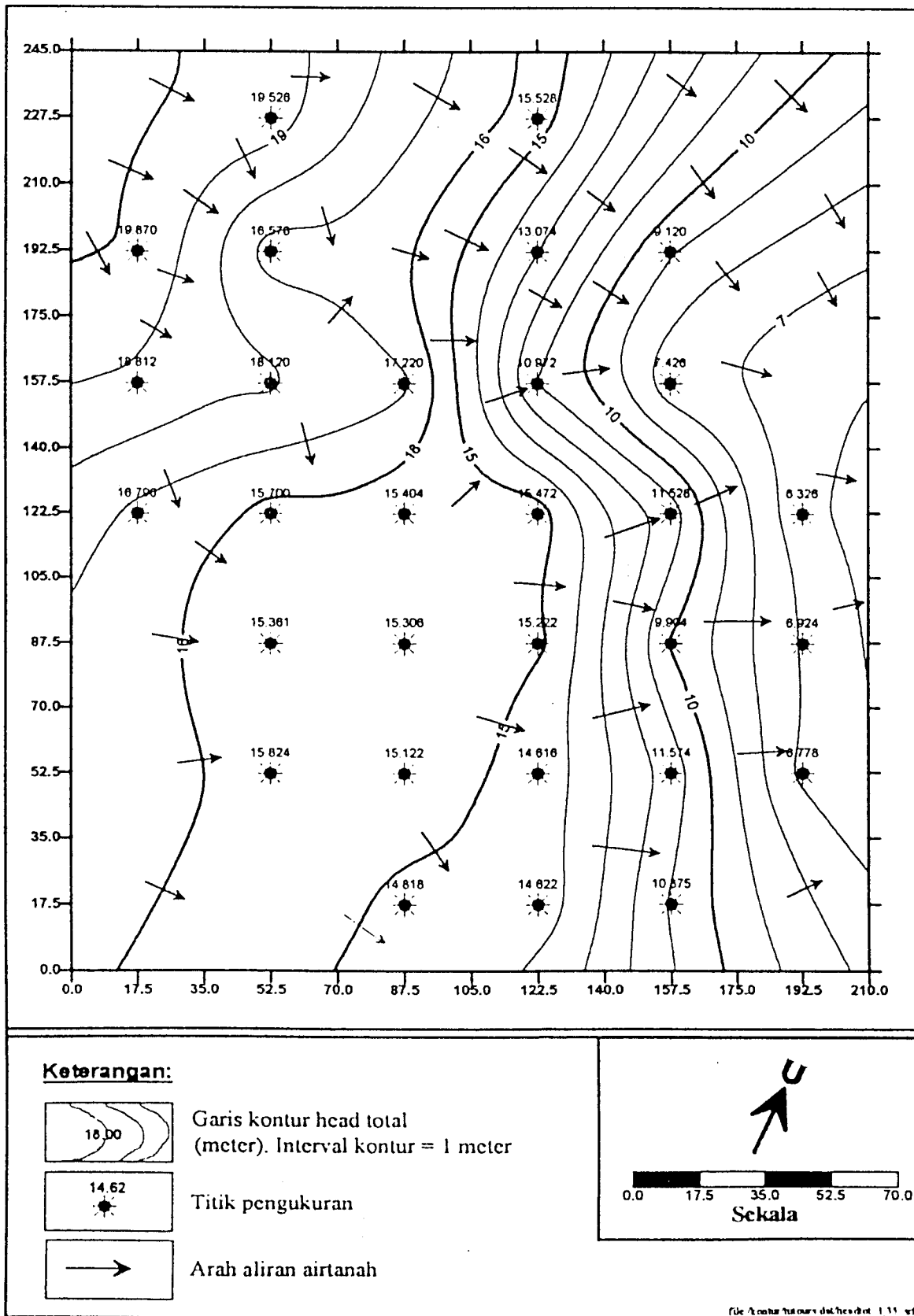
3. Hasil Perhitungan

a) Head Total Pada Kedalaman 1,35 meter

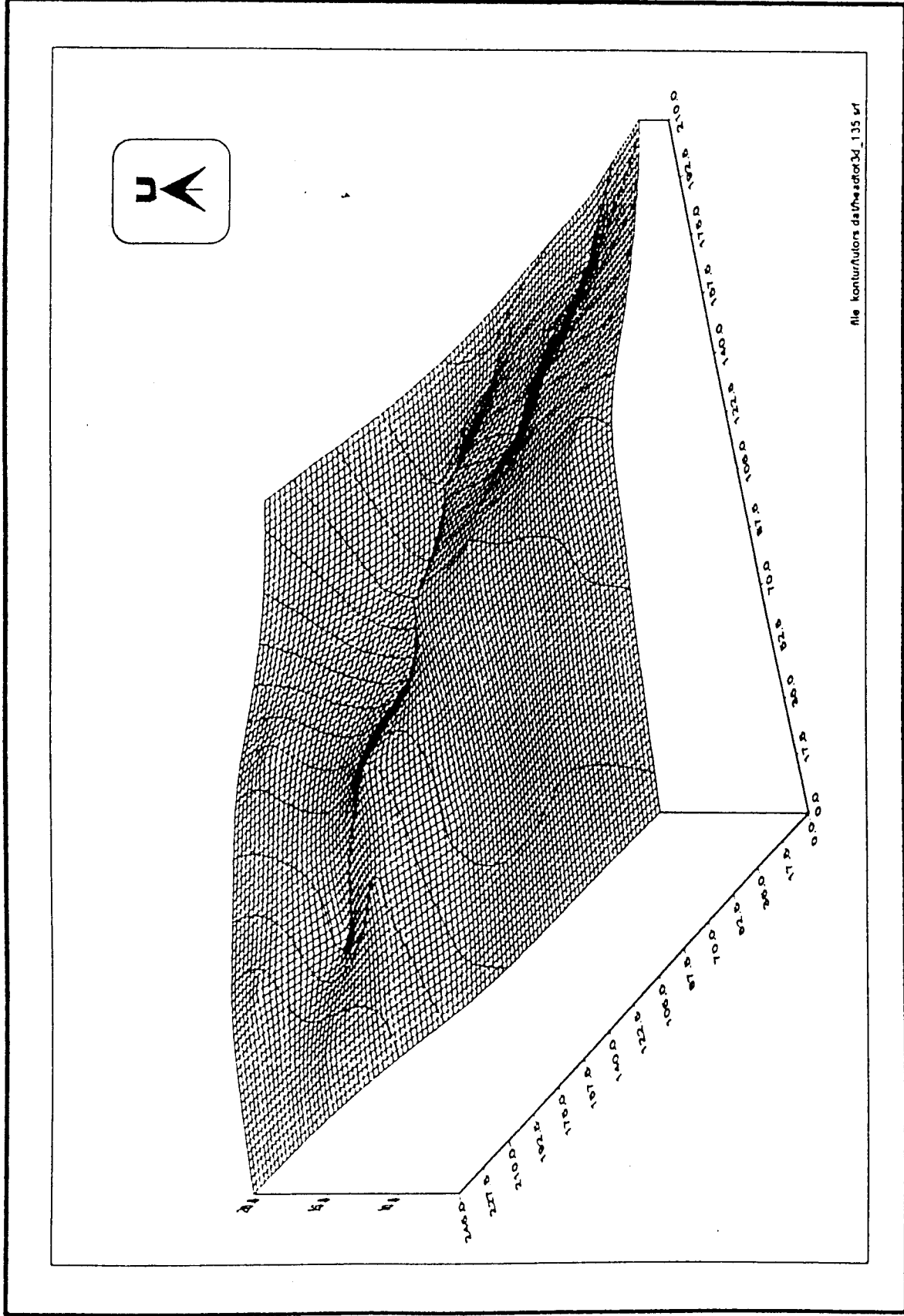
Hasil perhitungan *head* total pada kedalaman 1,35 meter disajikan pada Tabel 4.6. Sedangkan penyebaran *head* total dan pola aliran airtanah pada kedalaman 1,35 meter disajikan pada Gambar 4.10 dan 4.11. Pada kedua gambar tersebut terlihat bahwa airtanah secara umum mengalir ke arah timur dan tenggara yang elevasinya lebih rendah.

Tabel 4.6. Perhitungan *Head Suction*, *Head* Gravitasi & *Head* Total pada Kedalaman 1,35 meter.

No.	Titik pengamatan	Elevasi muka tanah (meter)	Matric Suction (centi bar)	Head suction h_c (meter)	Head gravitasi z (meter)	Head total h_T (meter)
1	R1D	20.900	-27.00	-2.7540	19.5500	16.7960
2	R1E	22.100	-19.00	-1.9380	20.7500	18.8120
3	R1F	22.750	-15.00	-1.5300	21.4000	19.8700
4	R2B	18.500	-13.00	-1.3260	17.1500	15.8240
5	R2C	18.700	-19.50	-1.9890	17.3500	15.3610
6	R2D	19.600	-25.00	-2.5500	18.2500	15.7000
7	R2E	21.000	-15.00	-1.5300	19.6500	18.1200
8	R2F	21.600	-36.00	-3.6720	20.2500	16.5780
9	R2G	22.100	-12.00	-1.2240	20.7500	19.5260
10	R3A	17.800	-16.00	-1.6320	16.4500	14.8180
11	R3B	17.900	-14.00	-1.4280	16.5500	15.1220
12	R3C	18.900	-22.00	-2.2440	17.5500	15.3060
13	R3D	19.100	-23.00	-2.3460	17.7500	15.4040
14	R3E	20.100	-15.00	-1.5300	18.7500	17.2200
15	R4A	17.400	-14.00	-1.4280	16.0500	14.6220
16	R4B	17.700	-17.00	-1.7340	16.3500	14.6160
17	R4C	18.000	-14.00	-1.4280	16.6500	15.2220
18	R4D	18.250	-14.00	-1.4280	16.9000	15.4720
19	R4E	13.750	-14.00	-1.4280	12.4000	10.9720
20	R4F	15.750	-13.00	-1.3260	14.4000	13.0740
21	R4G	18.000	-11.00	-1.1220	16.6500	15.5280
22	R5A	13.500	-12.50	-1.2750	12.1500	10.8750
23	R5B	14.250	-13.00	-1.3260	12.9000	11.5740
24	R5C	13.600	-23.00	-2.3460	12.2500	9.9040
25	R5D	14.000	-11.00	-1.1220	12.6500	11.5280
26	R5E	10.000	-12.00	-1.2240	8.6500	7.4260
27	R5F	12.000	-15.00	-1.5300	10.6500	9.1200
28	R6A	9.100	-11.00	-1.1220	7.7500	6.6280
29	R6B	9.250	-11.00	-1.1220	7.9000	6.7780
30	R6C	9.600	-13.00	-1.3260	8.2500	6.9240
31	R6D	8.900	-12.00	-1.2240	7.5500	6.3260



Gambar 4.10: Peta penyebaran head total pada kedalaman 1,35 meter



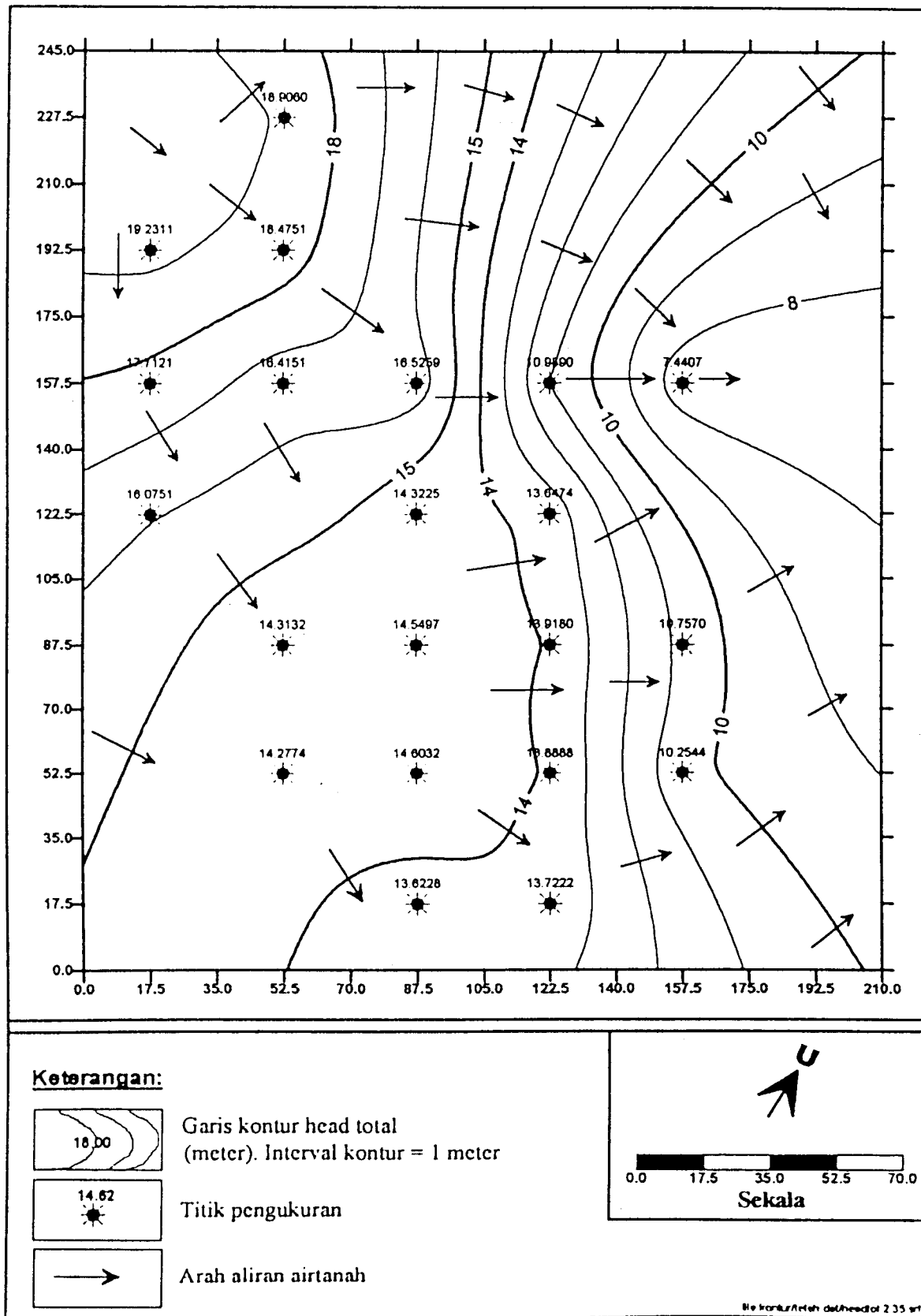
Gambar 4.11: Bentuk tiga dimensi penyebaran head total pada kedalaman 1,35 meter

b) *Head Total Pada Kedalaman 2,35 meter*

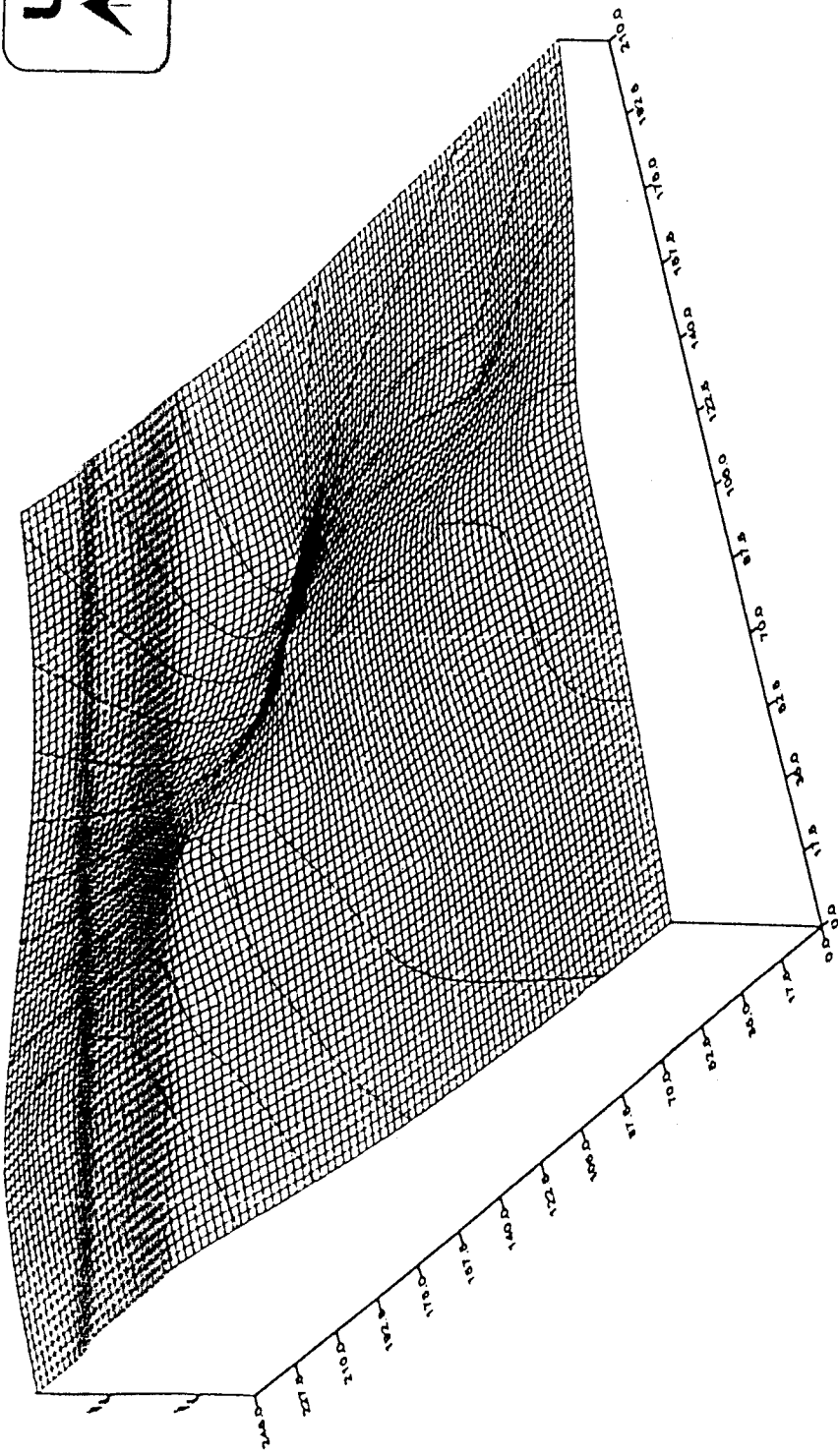
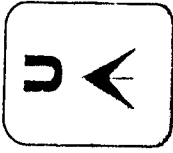
Hasil perhitungan *head* total pada kedalaman 2,35 meter disajikan pada **Tabel 4.7**. Sedangkan penyebaran *head* total dan pola aliran airtanah pada kedalaman 2,35 meter disajikan pada **Gambar 4.12** dan **4.13**. Pada kedua gambar tersebut terlihat bahwa airtanah secara umum mengalir ke arah tenggara dan timur laut, yang elevasinya lebih rendah.

Tabel 4.7: Perhitungan *Head Suction*, *Head* Gravitasi dan *Head Total* pada Kedalaman 2,35 meter.

No.	Titik Pengamatan	Elevasi muka tanah (meter)	Matric suction (centi bar)	Head suction Hc (meter)	Head gravitasi z (meter)	Head total h_T (meter)
1	R1D	20.90	-24.2642	-2.4749	18.550	16.0751
2	R1E	22.10	-19.9793	-2.0379	19.750	17.7121
3	R1F	22.75	-11.4596	-1.1689	20.400	19.2311
4	R2B	18.50	-18.3585	-1.8726	16.150	14.2774
5	R2C	18.70	-19.9691	-2.0368	16.350	14.3132
6	R2E	21.00	-21.9112	-2.2349	18.650	16.4151
7	R2F	21.60	-7.5968	-0.7749	19.250	18.4751
8	R2G	22.10	-8.2744	-0.8440	19.750	18.9060
9	R3A	17.80	-17.9135	-1.8272	15.450	13.6228
10	R3B	17.90	-9.2821	-0.9468	15.550	14.6032
11	R3C	18.90	-19.6104	-2.0003	16.550	14.5497
12	R3D	19.10	-23.7985	-2.4275	16.750	14.3225
13	R3E	20.10	-12.0007	-1.2241	17.750	16.5259
14	R4A	17.40	-13.0177	-1.3278	15.050	13.7222
15	R4B	17.70	-14.3255	-1.4612	15.350	13.8888
16	R4C	18.00	-16.9804	-1.7320	15.650	13.9180
17	R4D	18.25	-22.0842	-2.2526	15.900	13.6474
18	R4E	13.75	-4.0297	-0.4110	11.400	10.9890
19	R5B	14.25	-16.1332	-1.6456	11.900	10.2544
20	R5C	13.60	-4.8337	-0.4930	11.250	10.7570
21	R5E	10.00	-2.0521	-0.2093	7.650	7.4407



Gambar 4.12: Peta penyebaran head total pada kedalaman 2,35 meter



file: kontur/balah da/head3d_235.srf

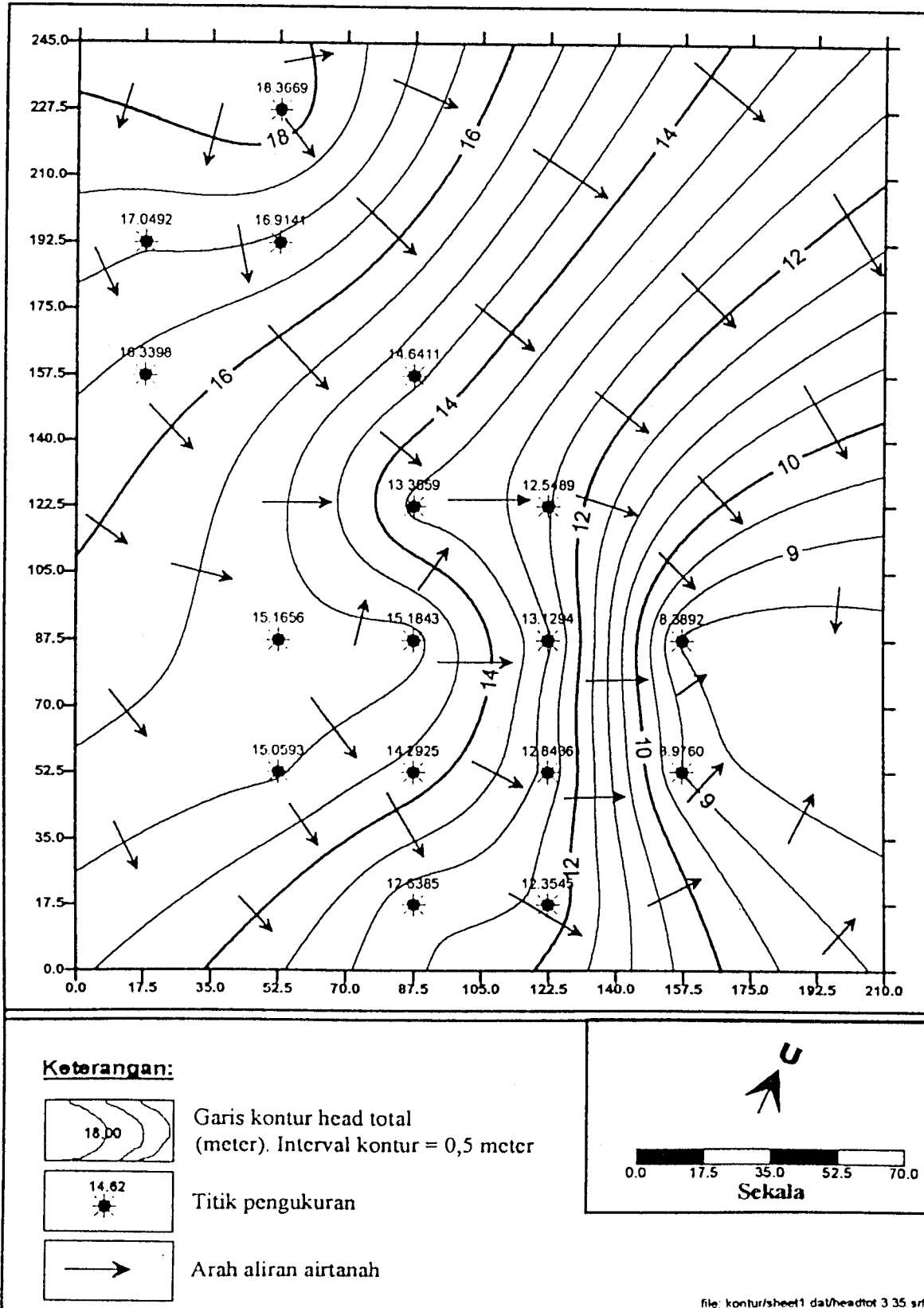
Gambar 4.13: Bentuk tiga dimensi penyebaran head total pada kedalaman 2,35 meter

c) *Head Total* Pada Kedalaman 3,35 meter

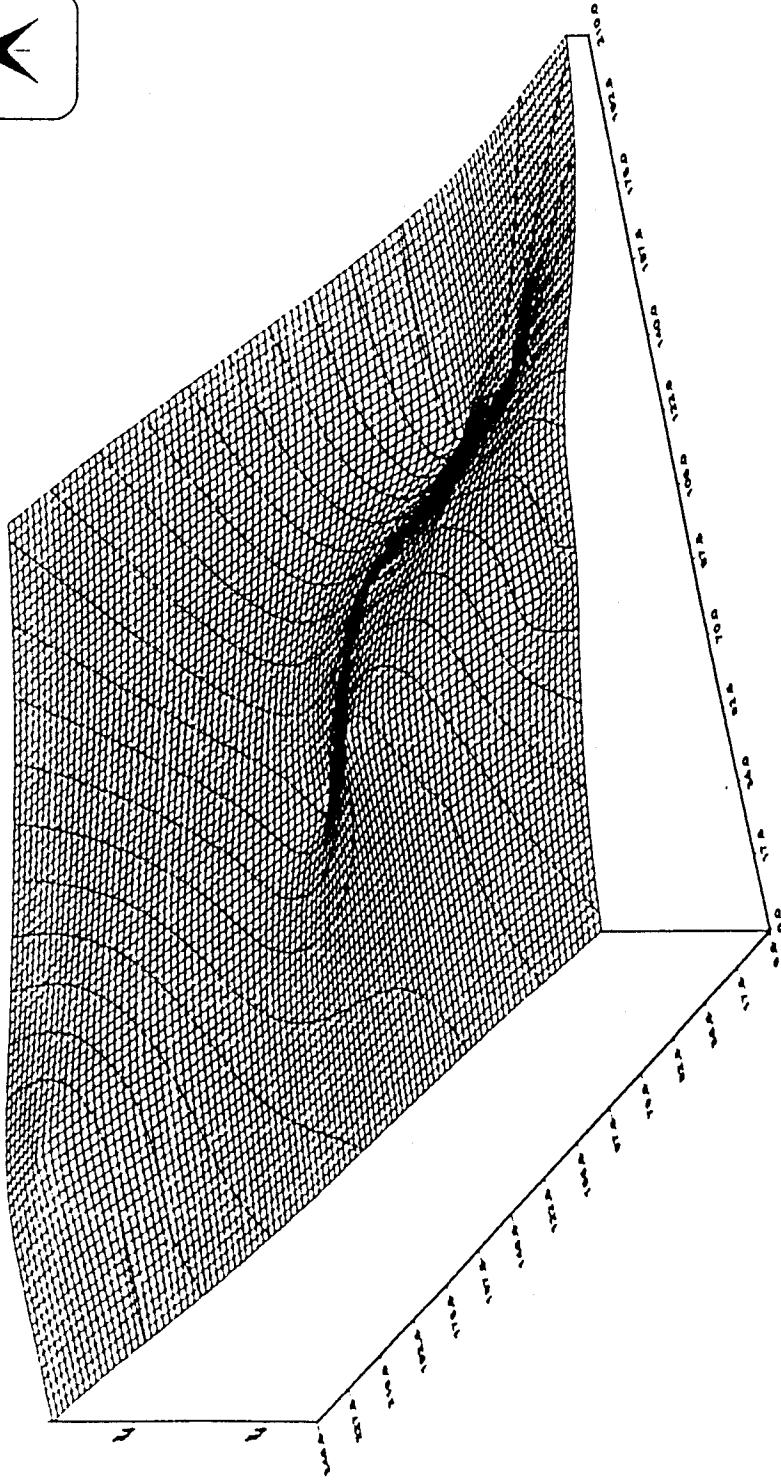
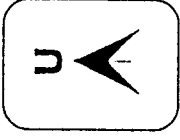
Hasil perhitungan *head* total pada kedalaman 3,35 meter disajikan pada **Tabel 4.8**. Sedangkan penyebaran *head* total dan pola aliran airtanah pada kedalaman 3,35 meter disajikan pada **Gambar 4.14** dan **4.15**. Pada kedua gambar tersebut terlihat bahwa airtanah secara umum mengalir ke arah tenggara dan timur laut, yang elevasinya lebih rendah.

Tabel 4.8. Perhitungan *Head Suction*, *Head* Gravitasi dan *Head Total* pada Kedalaman 3,35 meter.

No.	Titik pengamatan	Elevasi muka tanah (meter)	Matric suction (centi bar)	Head suction hc (meter)	Head gravitasi z (meter)	Head total h_T (meter)
1	R1E	22.100	-23.6290	-2.4102	18.750	16.3398
2	R1F	22.750	-23.0470	-2.3508	19.400	17.0492
3	R2B	18.500	-0.8893	-0.0907	15.150	15.0593
4	R2C	18.700	-1.8082	-0.1844	15.350	15.1656
5	R2F	21.600	-13.0968	-1.3359	18.250	16.9141
6	R2G	22.100	-3.7561	-0.3831	18.750	18.3669
7	R3A	17.800	-17.7599	-1.8115	14.450	12.6385
8	R3B	17.900	-2.5241	-0.2575	14.550	14.2925
9	R3C	18.900	-3.5849	-0.3657	15.550	15.1843
10	R3D	19.100	-23.4712	-2.3941	15.750	13.3559
11	R3E	20.100	-20.6757	-2.1089	16.750	14.6411
12	R4A	17.400	-16.6223	-1.6955	14.050	12.3545
13	R4B	17.700	-14.7691	-1.5064	14.350	12.8436
14	R4C	18.000	-14.9077	-1.5206	14.650	13.1294
15	R4D	18.250	-23.0500	-2.3511	14.900	12.5489
16	R5B	14.250	-18.8624	-1.9240	10.900	8.9760
17	R5C	13.600	-18.2430	-1.8608	10.250	8.3892



Gambar 4.14: Peta penyebaran head total pada kedalaman 3,35 meter



file kontur/sheet1 da/head0d_3.35.tif .

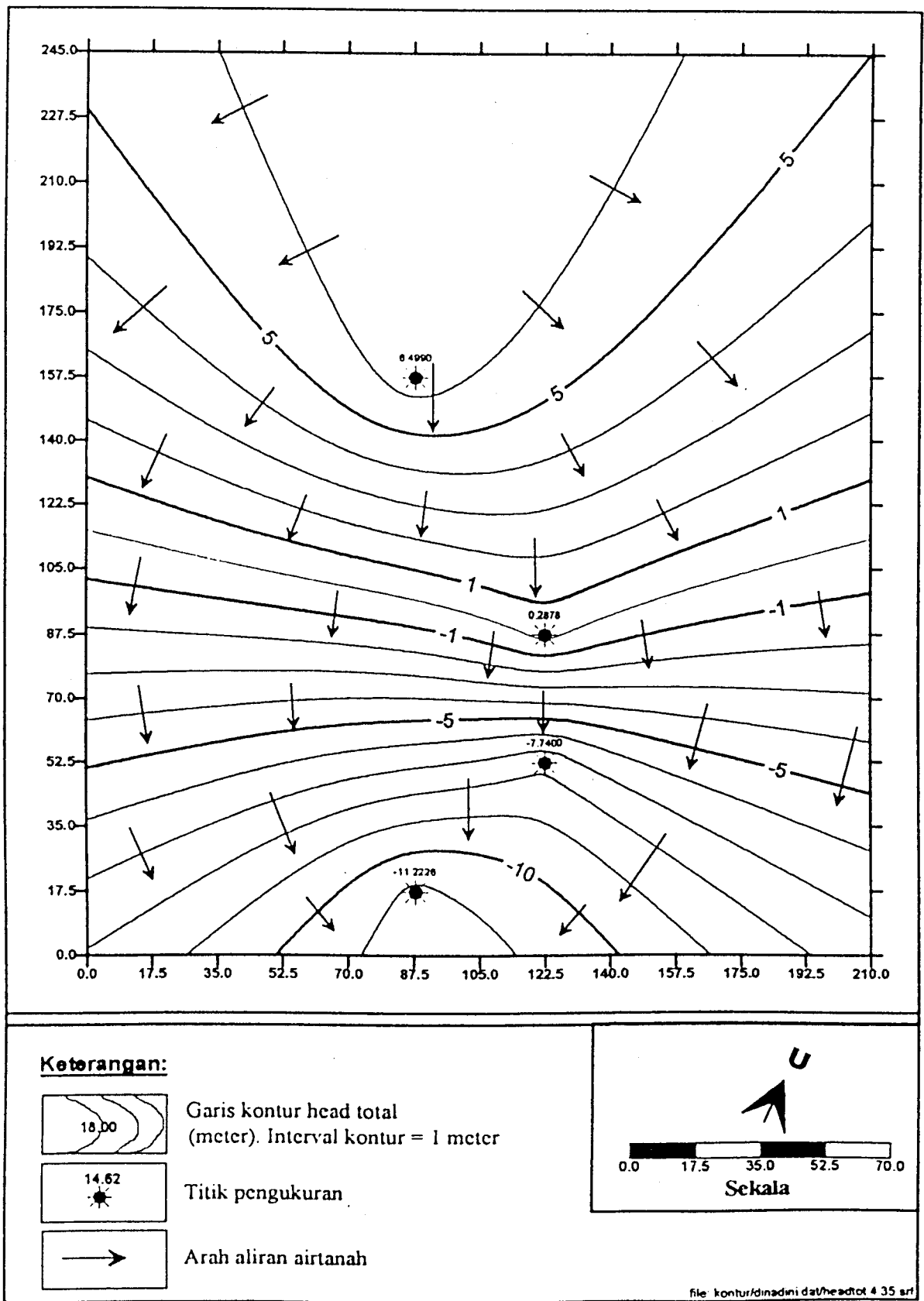
Gambar 4.15: Bentuk tiga dimensi penyebaran head total pada kedalaman 3,35 meter

d) Head Total Pada Kedalaman 4,35 meter

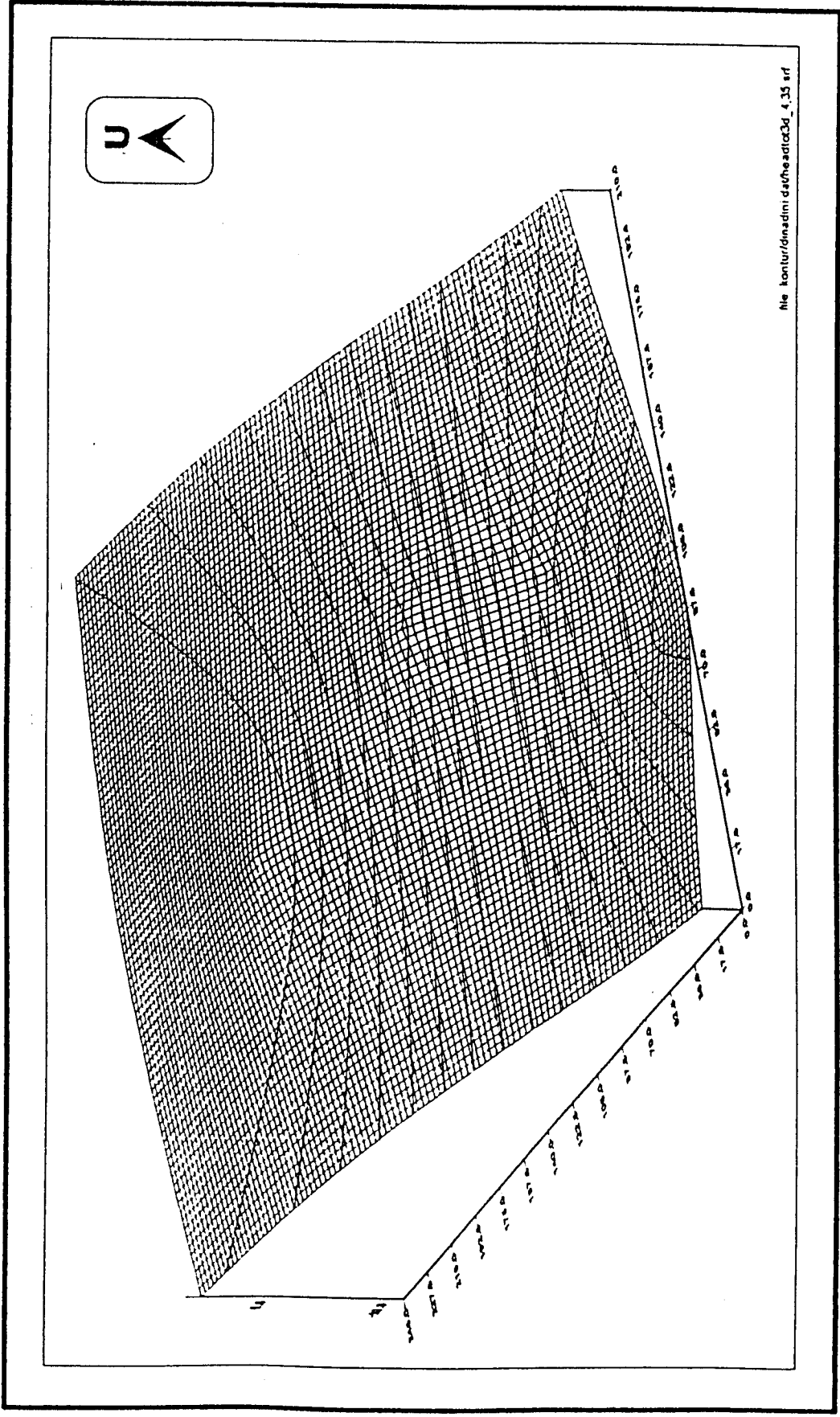
Hasil perhitungan *head* total pada kedalaman 4,35 meter disajikan pada **Tabel 4.9**. Sedangkan penyebaran *head* total dan pola aliran airtanah pada kedalaman 4,35 meter disajikan pada **Gambar 4.16** dan **4.17**. Pada kedua gambar tersebut terlihat dua pola aliran airtanah. Di sebelah barat airtanah mengalir ke arah barat daya, selatan dan kemudian tenggara. Sedangkan di sebelah timur airtanah mengalir ke arah tenggara, selatan dan kemudian barat daya.

Tabel 4.9. Perhitungan *Head Suction*, *Head* Gravitasi dan *Head* Total pada Kedalaman 4,35 meter.

No.	Titik pengamatan	Elevasi muka tanah (meter)	Matric suction (centi bar)	Head suction (meter)	Head gravitasi z (meter)	Head total h_T (meter)
1	R3A	17.80	-23.61	-24.6726	13.450	-11.2226
2	R3E	20.10	-9.24	-9.2510	15.750	6.4990
3	R4B	17.70	-20.16	-21.0900	13.350	-7.7400
4	R4C	18.00	-12.72	-13.3622	13.650	0.2878



Gambar 4.16: Peta penyebaran head total pada kedalaman 4,35 meter



file kontur/dmadimi.daftheadf3d_4.35.srf

Gambar 4.17: Bentuk tiga dimensi penyebaran head total pada kedalaman 4,35 meter

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

1. Dari survey yang dilakukan terhadap daerah penelitian, diketahui bahwa geologi permukaan tersusun atas pasir lanauan, lempung pasiran dan setempat-setempat terdapat urugan. Penyebarannya, di sebelah selatan dan barat didominasi oleh pasir lanauan, yang menyebar dari sebelah barat dan menipis ke arah timur. Di sebelah tenggara juga terdapat litologi ini yang berupa sisipan dalam lempung pasiran. Sedangkan ke arah utara didominasi oleh litologi berupa lempung pasiran.
2. Dari hasil analisis regresi yang dilakukan dalam penelitian ini, ternyata model analisis regresi linier berganda mempunyai akurasi pendugaan yang sangat baik untuk meramal nilai *matric suction*. Model persamaan peramal linier berganda yang dihasilkan adalah: $\Psi = - 50.6181 + 1.2983(\theta) - 1754.3931(K) + 0.0059(VCS) + 0.2353(CS) - 0.1772(MS) + 0.3991(FS) + 0.0421(S\&C)$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,954$ dan koefisien korelasi $r = 0,977$, *significant* pada tarap kepercayaan 95 %.
3. Pengaruh tunggal masing-masing variabel terhadap *matric suction* yang dianalisis dengan regresi linier sederhana dan non linier sederhana, menunjukkan bahwa pengaruh kadar air lebih dominan bila dibandingkan dengan variabel-variabel lainnya. Akan tetapi pengaruh kadar air yang dianalisis dengan regresi non linier sederhana (model polinomial orde 4), lebih besar bila dibandingkan dengan analisis non linier sederhana lainnya maupun dengan analisis linier sederhana.
4. Hasil perhitungan head total pada daerah penelitian adalah sebagai berikut: Pada kedalaman 1,35 m, $h_T = 6,326 - 19,87$ m, airtanah secara umum mengalir ke arah timur dan tenggara. Pada kedalaman 2,35 m, $h_T = 7,44 - 19,23$ m, airtanah secara umum mengalir ke arah tenggara dan timur laut. Pada kedalaman 3,35 m, $h_T = 8,389 - 18,367$ m, airtanah secara umum mengalir ke arah tenggara dan timur laut. Pada kedalaman 4,35 m, $h_T = -11,223 - 6,499$ m. Pada kedalaman ini ada dua pola aliran airtanah. Di sebelah barat airtanah mengalir ke arah barat daya, selatan dan kemudian tenggara. Sedangkan di sebelah timur airtanah mengalir ke tenggara, selatan dan kemudian barat daya.

B. SARAN

Bagi peneliti lain yang ingin melanjutkan penelitian ini disarankan:

1. Melakukan pengukuran matric suction pada tiap kedalaman tertentu dan setiap lapisan tanah
2. Melakukan pengujian saturasi residu setiap fase fluida
3. Membuat kurva karakteristik tanah dan kurva histerisis
4. Membuat model aliran fluida pada zona unsaturated, khususnya yang berkenaan dengan pola aliran tiga fase (air, minyak dan gas)

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, K dan A. Settari, 1979, **Petroleum Reservoir Simulation**, Applied Science Publishers LTD, London
- Bowles, J.E. Alih Bahasa oleh J.K. Hainim, 1989, **Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah**, Erlangga, Jakarta.
- Clarke, M.C.G dkk, 1982, **The Geology of The Pakanbaru Quadrangle, Sumatra**. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Dinas Pertambangan Propinsi Daerah Tingkat I Riau, 1994, **Proyek Inventarisasi dan Pemetaan Air Bawah Tanah dan Air Permukaan se Propinsi Riau**, Tahun Anggaran 1993/1994, PT. Karsa Yasa Cipta Consult, Bandung.
- Direktorat Geologi Tata Lingkungan, 1988, **Peta Hidrogeologi Propinsi Riau (Tentative)**, Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jendral Geologi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Driscoll, F. G, 1989, **Groundwater and Well**, Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul, Minnesota 55112.
- Fetter, C.W, 1993, **Contaminant Hydrogeology**, Mac Millan Publishing Company, New York.
- Freeze, R.A. dan J.A. Cherry, 1979, **Groundwater**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Hillel, D, 1978, **Soil and Water Physical Principles and Processes**, Academic Press New York, San Francisco, London.
- Kirkham, D. and W.L. Powers, 1972, **Advanced Soil Physics**, Wiley – Interscience, A Division of John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kleinbaum, D.G and L.L Kupper, 1978, **Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods**, Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California.
- Scheidegger, A.E, 1972, **The Physics Of Flow Through Porous Media**, University of Toronto Prees, Canada.
- Triatmodjo, B, 1993, **Hidraulika**, Beta Offset, Yogyakarta.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. **The Geology of Indonesia**. Vol. IA. Martinus Nijhoff, The Hague, Netherland.
- Young, R.N. and B.P. Warkentin, 1975, **Soil Properties and Behaviour**, American Elsevier Publishing Company, Inc., New York.

Lampiran 4:

Tabel pengelompokan besar butir berdasarkan persentase kelolosan pada saringan standar

I. Tabel klasifikasi ukuran butir

Klasifikasi butiran	Diameter	
	inchi	mm
Boulder	> 10.08	> 256.0
Cobbel	2.52 - 10.08	64.0 - 256.0
Pebbel	0.16 - 2.52	4.0 - 64.0
Granule (very fine gravel)	0.08 - 0.16	2.0 - 4.0
Very coarse sand	0.04 - 0.08	1.0 - 2.0
Coarse sand	0.02 - 0.04	0.5 - 1.0
Medium sand	0.01 - 0.02	0.25 - 0.5
Fine sand	0.005 - 0.01	0.125 - 0.25
Very fine sand	0.002 - 0.005	0.063 - 0.125
Silt	0.0002 - 0.002	0.004 - 0.063
Clay	< 0.0002	< 0.004

Krumbein dan Pettijhon (1938) dalam Driscoll (1989, p: 410)

II. Pengelompokan besar butir

No. saringan	Klasifikasi butiran
antara no. 4 dan no.10	Very coarse sand
antara no.10 dan no. 30	Coarse sand
antara no. 30 dan no. 50	Medium sand
antara no. 50 dan no. 200	Fine sand
lebih kecil dari no. 200	Silt dan clay

III. Saringan standar yang digunakan untuk analisis besar butir menurut standar ASTM: E-11-70 (vol. 14,02)

Ukuran atau no. saringan	Ukuran lubang (mm)
4.00	4.76
10.00	2.00
20.00	0.84
40.00	0.42
60.00	0.25
100.00	0.15
200.00	0.07
< 200.00	< 0.063

file: excel/Lampiran_2/sheet-1

Bersambung

IV. Pengelompokan besar butir

Besar butir (% berat)	No. saringan	R1D			R1E			R1F2			R2B			R2C		
		R1D1	R2D2	R1E1	R1E2	R1E3	R1F1	R1F2	R1F3	R2B1	R2B2	R2B3	R2C1	R2C2	R2C3	
Very coarse sand	antara #4 dan #10	28.76	29.80	2.28	5.72	22.40	0.32	1.12	3.56	18.48	8.16	0.00	0.20	0.08	0.00	
Coars sand	antara #10 dan 30	37.12	33.40	25.20	27.20	39.84	18.88	16.36	31.36	24.48	12.28	0.28	15.64	13.76	1.36	
Medium sand	antara #30 dan 50	11.52	12.08	19.56	18.32	19.72	21.96	14.60	29.08	16.96	17.20	0.44	26.52	23.60	2.60	
Fine sand	antara #50 dan #200	8.64	10.60	16.88	16.24	9.72	20.80	19.28	15.52	16.40	21.64	1.32	25.04	27.44	26.00	
Silt dan clay	lebih kecil dari #200	13.96	14.12	36.08	32.52	13.92	38.04	48.64	8.48	23.32	40.72	97.96	32.60	35.12	70.04	

Besar butir (% berat)	No. saringan	R2D			R2E			R2F			R2G		
		R2D1	R2D2	R2D3	R2E1	R2E2	R2E3	R2F1	R2F2	R2F3	R2G1	R2G2	R2G3
Very coarse sand	antara #4 dan #10	18.48	41.20	0.00	2.24	7.80	13.36	0.84	0.08	0.24	1.00	0.00	0.00
Coars sand	antara #10 dan 30	24.84	29.45	0.12	23.84	37.28	44.08	24.80	11.84	11.50	3.12	4.88	1.60
Medium sand	antara #30 dan 50	16.96	7.04	0.40	17.44	19.64	21.80	25.44	18.12	14.52	5.32	11.08	4.52
Fine sand	antara #50 dan #200	16.40	10.88	0.48	20.00	13.88	8.80	24.24	28.48	13.92	22.36	25.12	16.72
Silt dan clay	lebih kecil dari #200	23.32	11.08	99.00	40.48	21.40	11.90	24.68	40.76	45.28	68.20	58.92	77.16

Besar butir (% berat)	No. saringan	R3A				R3B			R3C			R3D		
		R3A1	R3A2	R3A3	R3A4	R3B1	R3B2	R3B3	R3C1	R3C2	R3C3	R3D1	R3D2	R3D3
Very coarse sand	antara #4 dan #10	0.04	0.04	0.68	0.44	0.20	1.40	3.48	0.08	0.48	0.08	2.28	12.20	2.12
Coars sand	antara #10 dan 30	11.40	10.44	16.76	5.08	7.76	9.84	11.68	13.52	9.84	4.92	24.36	30.56	11.92
Medium sand	antara #30 dan 50	28.68	25.48	34.28	37.36	22.28	15.92	19.52	26.52	22.96	11.80	19.64	21.92	18.72
Fine sand	antara #50 dan #200	29.68	27.60	22.88	30.24	31.36	26.12	29.52	27.72	28.72	15.52	16.76	15.24	13.36
Silt dan clay	lebih kecil dari #200	30.20	36.44	25.40	26.88	38.40	46.72	35.80	32.16	37.20	67.68	36.96	20.08	53.88

file: excel/Lampiran_2/sheet-2/p.2

Besat butir (% berat)	No. saringan	R3E						R4A						R4B								
		R3E1	R3E2	R3E3	R3E4	R4A1	R4A2	R4A3	R4A4	R4B1	R4B2	R4B3	R4B4	R4E1	R4E2	R4E3	R4E4	R4F1	R4F2	R4F3	R4F4	
Very coarse sand	antara #4 dan #10	0.56	3.48	13.72	0.12	0.04	0.28	0.60	0.20	0.28	0.24	0.72	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
	antara #10 dan #30	17.28	23.44	48.36	1.52	9.64	9.72	9.60	8.44	7.92	10.40	9.60	8.44	7.92	10.40	9.60	8.44	7.92	10.40	9.60	8.44	7.92
Medium sand	antara #30 dan #50	21.48	12.52	9.28	2.00	28.96	27.32	26.92	22.24	21.64	26.32	34.60	22.24	21.64	26.32	34.60	22.24	21.64	26.32	34.60	22.24	21.64
	antara #50 dan #200	22.76	14.24	9.00	1.52	28.16	26.60	27.44	30.68	27.92	31.36	25.64	30.68	27.92	31.36	25.64	30.68	27.92	31.36	25.64	30.68	27.92
Silt dan clay	lebih kecil dari #200	37.92	46.32	19.64	94.64	33.20	36.08	33.44	38.44	42.24	31.72	29.44	38.44	42.24	31.72	29.44	38.44	42.24	31.72	29.44	38.44	42.24

Besat butir (% berat)	No. saringan	R4C						R4D						R4E						R4F						R4G						R5A						R5B					
		R4C1	R4C2	R4C3	R4C4	R4D1	R4D2	R4D3	R4D4	R4E1	R4E2	R4E3	R4E4	R4F1	R4F2	R4F3	R4F4	R4G1	R4G2	R4G3	R4G4	R5A1	R5A2	R5A3	R5A4	R5B1	R5B2	R5B3	R5B4														
Very coarse sand	antara #4 dan #10	0.08	0.16	0.12	0.80	1.48	12.40	14.24	1.52	6.76	0.44	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04														
	antara #10 dan #30	9.76	12.16	9.24	11.04	18.32	36.48	39.32	17.40	11.56	9.48	0.28	8.12	8.40	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.12	8.12	8.12	8.12	8.40	8.20	13.24	13.24														
Medium sand	antara #30 dan #50	24.60	23.96	21.32	20.48	17.12	14.28	16.60	14.96	5.56	17.56	0.96	14.76	23.00	22.52	23.24	23.24	23.24	23.24	23.24	23.24	14.76	14.76	14.76	23.00	22.52	23.24	23.24	23.24														
	antara #50 dan #200	26.16	23.96	26.12	28.32	16.84	12.24	8.84	13.56	6.36	20.80	3.92	20.56	27.48	27.60	19.36	19.36	19.36	19.36	19.36	19.36	20.56	20.56	20.56	27.48	27.60	19.36	19.36	19.36														
Silt dan clay	lebih kecil dari #200	39.40	39.76	43.20	39.36	46.24	24.60	21.00	12.56	69.76	51.72	94.80	49.00	40.84	41.08	33.36	33.36	33.36	33.36	33.36	49.00	49.00	49.00	40.84	41.08	33.36	33.36	33.36	33.36														

Besat butir (% berat)	No. saringan	R5C						R5D						R5E						R5F						R5G					
		R5C1	R5C2	R5C3	R5D1	R5D2	R5D3	R5E1	R5E2	R5E3	R5E4	R5F1	R5F2	R5F3	R5F4	R5G1	R5G2	R5G3	R5G4	R5H1	R5H2	R5H3	R5H4	R5I1	R5I2	R5I3	R5I4				
Very coarse sand	antara #4 dan #10	0.12	0.08	0.04	12.84	3.04	0.20	0.48	0.88	0.00	0.40	1.56	0.40	0.40	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	0.88	0.88	0.88	0.40	0.40	1.56	1.56	1.56	1.56		
	antara #10 dan #30	14.56	10.24	9.52	8.68	19.40	2.96	9.32	4.64	7.52	10.00	12.60	4.64	7.52	10.00	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	7.52	7.52	7.52	10.00	10.00	12.60	12.60	12.60	12.60		
Medium sand	antara #30 dan #50	30.04	25.52	21.00	3.96	26.48	2.64	17.04	7.48	33.00	20.76	11.08	7.48	33.00	20.76	11.08	11.08	11.08	11.08	11.08	33.00	33.00	33.00	20.76	20.76	11.08	11.08	11.08	11.08		
	antara #50 dan #200	30.48	23.52	22.24	7.40	20.92	2.68	30.08	6.00	29.16	21.84	13.64	6.00	29.16	21.84	13.64	13.64	13.64	13.64	13.64	29.16	29.16	29.16	21.84	21.84	13.64	13.64	13.64	13.64		
Silt dan clay	lebih kecil dari #200	24.80	40.76	47.20	67.12	28.16	91.52	43.08	81.00	75.80	47.00	61.12	81.00	75.80	47.00	61.12	61.12	61.12	61.12	61.12	75.80	75.80	75.80	47.00	47.00	61.12	61.12	61.12	61.12		

file: excel/Lampiran_2/sheet-2/p:3

