13778/H/01

PERPUSTAKAAN ITS

TUGAS AKHIR
(KL 1702)

ANALISA SCOURING PADA JALUR KABEL LISTRIK BAWAH LAUT DI SELAT MADURA

Rske
551.358
And
a-1
2000

Oleh :

ANDI M. PALKAR P.
NRP. 4394 100 020

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2000

20/9/2000
21.2110

ANALISA SCOURING PADA JALUR KABEL LISTRIK BAWAH LAUT DI SELAT MADURA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
25/2/2000	25/2 2000
Ir. HASAN IKHWANI, M.Sc.	Dr. Ir. WAHYUDI, M.Sc.
NIP. 132 048 145	NIP. 131 842 502

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

SURABAYA
Februari, 2000

"Allah menganugrahkan al hikmah kepada siapa yang Dia kehendaki. Dan barang siapa yang dianugrahkan al hikmah itu, ia benar-benar telah dikaruniai anugrah yang banyak. Dan hanya orang yang berakallah yang dapat mengambil pelajaran".

(Al Baqarah: 269)

ABSTRAK

ABSTRAK

Analisa scouring pada jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura dalam penelitian berikut menggunakan tiga formulasi perhitungan kedalaman maksimal scouring yaitu formulasi dari Technical University of Norway, Delft University of Technology dan metode Nanyang Technological University. Jalur yang dianalisa dibagi menjadi empat zona berdasarkan perbedaan kecepatan arus dan diameter butiran tanah seabed. Untuk tiap-tiap zona formulasi dari Technical University of Norway menghasilkan kedalaman scouring sebesar 0,254 m, 0,265 m, 0,256 m, 0,341m, Delft University of Technology menghasilkan kedalaman scouring sebesar 0,391 m, 0,371 m, 0,404 m, 0,589 m, dan untuk metode Nanyang Technological University dengan undisturbed flow depth 0,6 m menghasilkan kedalaman scouring sebesar 0,4766 m, 0,236 m, 0,505 m, 1,049 m, sedangkan untuk undisturbed flow depth 1 m menghasilkan kedalaman scouring sebesar 0,616 m, 0,3015 m, 0,698 m, dan 1,3777 m.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Alhamdu lillahi rabbil 'aalamiin, puji syukur atas berkah, rahmat, dan hidayah yang Allah SWT berikan kepada saya sehingga Tugas Akhir ini dapat saya selesaikan tepat pada waktu yang telah direncanakan.

Tugas Akhir ini belum sepenuhnya mencapai sasaran yang diinginkan karena keterbatasan dalam hal teknis maupun non-teknis yang dihadapi dalam penyusunannya. Walaupun demikian diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berguna sebagai bahan acuan dalam ruang lingkup akademis dan mungkin juga dalam penelitian sejenis pada lokasi yang sama atau pada lokasi yang berbeda.

Keberhasilan dalam penyelesaian Tugas Akhir tidak terlepas dari dukungan dan bantuan baik moril maupun material pihak-pihak lain. Oleh karena itu saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Yang terhormat dan tercinta Ibu dan Bapak saya yang telah mendidik dan membesarkan saya dengan segala pengorbanan yang tulus-ikhlas dan nasehat yang tak henti-hentinya.
2. Kakak-kakak saya yang tercinta, Selfi, Sona, Arma dan Tentri atas keceriaan, nasehat, dan kebersamaan dalam suka maupun duka.
3. Bpk Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc atas bimbingan, nasehat, arahannya dan kesediaannya menjadi dosen pembimbing I.
4. Bpk Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc atas bimbingan dan kesediaannya menjadi dosen pembimbing II.
5. Bpk Prof. Dr. Ir. Widi Pratikto, M.Sc atas masukan dan kritikan selama presentasi I dan II.
6. Bpk Ir. Suntoyo, Ir. Solichin, dan Ir. Dhodot atas konsultasi dan peminjaman referensi.
7. Vidi S.T untuk contact person di PLN
8. Bpk. Bambang.E.W dan Bpk Kunari (Kabag. Pengusahaan PLN Sektor Sby) atas data teknis kabel listrik bawah laut Selat Madura.

9. Bpk. Ir.Fudholi, M.Sc yang telah memberikan data perairan dan data tanah Selat Madura.
10. Bpk. Dr. Ir. Daniel. M Rosyid, M.Sc atas peminjaman fasilitas Pasca Sarjana FTK.
11. Juga orang tua saya Bpk. dan Ibu Dr. Ir. Eddy. I.
12. Yang "tersayang, tercinta..,." Marina Indradiyanti dengan segala perhatian, kasih sayang dan kesetiaan mendampingi saya dalam suka dan duka.
13. Dian Yahya, S.T. "thanks for your worth supports and advise to me and also a big time we had hang out together".
14. Krisnan Kusmara Kusuma Atmaja, S.T."Terima kasih atas tempat tinggal yang sangat nyaman"
15. Eko "Bob" Yanri." Every cloud has a lining".
16. Dan yang lain-lain yang tidak mungkin disebutkan satu persatu di sini.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	x
BAB I PENDAHULUAN	I - 1
I.1 Latar Belakang Masalah	I - 1
I.2 Perumusan Masalah	I - 11
I.3 Tujuan	I - 12
I.4 Manfaat	I - 13
I.5 Batasan Masalah	I - 14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	II - 1
II.1 Tinjauan Pustaka	II - 1
II.2 Landasan Teori	II - 3
II.2.1 Kecepatan Arus Akibat Gelombang	II - 3
II.2.2 Arus Pasang Surut	II - 10
II.2.3 Definisi Dan Jenis Scouring	II - 14
II.2.4 Perhitungan Untuk Memprediksi Kedalaman Maximal Scouring	II - 18
II.2.4.1 Technical University of Norway	II - 18
II.2.4.2 Delft University of Technology	II - 20
II.2.4.3 Nanyang Technological University	II - 21

BAB III METODOLOGI III - 1
III.1 Umum III - 1
III.2 Pengumpulan Data III - 2
III.3 Pengolahan Data III - 3

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN IV - 1
IV.1 Kecepatan Arus Akibat Gelombang IV - 1
IV.2 Kecepatan Arus Pasang Surut IV - 5
IV.3 Kedalaman Maksimal Scouring IV - 9
IV.3.1 Technical University of Norway IV - 9
IV.3.2. Delft University of Technology IV - 14
IV.3.3 Nanyang Technological University IV - 19
IV.4 Diskusi IV - 29

BAB V PENUTUP V - 1
V.1 Kesimpulan V - 1
V.2 Saran V - 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN
LAMPIRAN I DATA SEKUNDER
LAMPIRAN II HASIL PERHITUNGAN
LAMPIRAN III GRAFIK DAN GAMBAR PROFIL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Jawa Timur dan Madura	I - 4
Gambar 1.2	Lokasi jalur kabel listrik bawah laut di alur pelayaran barat Selat Madura	I - 6
Gambar 1.3	Peta lokasi jalur kabel listrik di Selat Madura	I - 7
Gambar 1.4	Potongan kabel listrik bawah laut dengan 3 inti (core)	I - 8
Gambar 1.5	Profil kedalaman bentangan kabel listrik bawah laut di Selat Madura	I - 9
Gambar 2.1	Profile eksponential decay	II - 3
Gambar 2.2	Rentang validitas teori gelombang	II - 6
Gambar 2.3	Panjang gelombang terhadap kedalaman dan periode	II - 9
Gambar 2.4	Skematik gaya tarik bulan terhadap bumi	II - 11
Gambar 2.5	Sebaran pasut ekuilibria oleh bulan	II - 13
Gambar 2.6	Tiga jenis sistem vortex dan proses terjadinya scouring	II - 16
Gambar 2.7(a)	Profil tipikal kesetimbangan scouring	II - 23
Gambar 2.7(b)	Variabel-variabel yang menentukan besarnya aliran pada gap	II - 24
Gambar 2.7(c)	Wilayah yang terjadi pada aliran yang melewati struktur	II - 24
Gambar 2.8	Pengaruh Yo/D pada qbot (q')	II - 25
Gambar 2.9	Diagram Moody	II - 27
Gambar 2.10	Diagram gaya geser kritis terhadap ukuran butiran	II - 28
Gambar 3.1	Diagram metodologi penulisan tugas akhir	III - 1

Gambar 3.2	Diagram alir perhitungan panjang gelombang	III - 5
Gambar 3.3	Diagram alir perhitungan kecepatan arus akibat gelombang	III - 6
Gambar 3.4	Sudut kabel terhadap horizontal dan arus pasut yang tegak lurus kabel	III - 7
Gambar 3.5	Diagram alir perhitungan kedalaman scouring dengan formulasi Technical University of Norway	III - 8
Gambar 3.6	Diagram alir perhitungan kedalaman scouring dengan formulasi Delft University of Technology	III - 9
Gambar 3.7	Diagram alir perhitungan kedalaman scouring dengan metode Nanyang Technological University	III - 10
Gambar 3.8	Pembagian zona berdasarkan perbedaan kecepatan arus dan diameter butiran	III - 11
Gambar 4.1	Profil kecepatan arus akibat gelombang	IV - 4
Gambar 4.2	Penentuan arah kecepatan maksimal arus pasut terhadap kabel listrik	IV - 6
Gambar 4.3	Profil kecepatan maksimal arus pasut pada setiap zona	IV - 8
Gambar 4.4(a)	Profil scouring formulasi Technical University of Norway pada zona I	IV - 10
Gambar 4.4(b)	Profil scouring formulasi Technical University of Norway pada zona II	IV - 11
Gambar 4.4(c)	Profil scouring formulasi Technical University of Norway pada zona III	IV - 12
Gambar 4.4(d)	Profil scouring formulasi Technical University of Norway pada zona IV	IV - 13
Gambar 4.5(a)	Profil scouring formulasi Delft University of Technology pada zona I	IV - 15

Gambar 4.5(b) Profil scouring formulasi Delft University of Technology pada zona II IV – 16
Gambar 4.5(c) Profil scouring formulasi Delft University of Technology pada zona III IV – 17
Gambar 4.5(d) Profil scouring formulasi Delft University of Technology pada zona IV IV – 18
Gambar 4.6(a) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona I dan Yo = 0,6 m IV – 21
Gambar 4.6(b) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona II dan Yo = 0,6 m IV – 22
Gambar 4.6(c) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona III dan Yo = 0,6 m IV – 23
Gambar 4.6(d) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona IV dan Yo = 0,6 m IV – 24
Gambar 4.7(a) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona I dan Yo = 1 m IV – 25
Gambar 4.7(b) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona II dan Yo = 1 m IV – 26
Gambar 4.7(c) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona III dan Yo = 1 m IV – 27
Gambar 4.7(d) Profil scouring metode Nanyang Technological University pada zona IV dan Yo = 1 m IV – 28
Gambar 4.8(a) Profil scouring jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura pada zona I IV - 33
Gambar 4.8(b) Profil scouring jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura pada zona II IV - 34
Gambar 4.8(c) Profil scouring jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura pada zona III IV - 35
Gambar 4.8(d) Profil scouring jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura pada zona IV IV - 36

Gambar 4.9 . Tipe-tipe Trenching dengan *backfill* IV - 39

Gambar 4.10. Perlindungan Pipa dengan *Backfill* IV - 40

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Kronologi putusnya kabel listrik di Selat Madura	I - 8
Tabel 4.1	Perhitungan panjang gelombang pada kondisi deep water dan shallow water	IV - 1
Tabel 4.2	Iterasi untuk menentukan panjang gelombang	IV - 2
Tabel 4.3	Kecepatan arus pasut maksimal untuk tiap zona	IV - 7
Tabel 4.4	Perhitungan kedalaman maksimal scouring dengan formulasi Technical University of Norway	IV - 9
Tabel 4.5	Perhitungan kedalaman maksimal scouring dengan formulasi Delft University of Technology	IV - 14
Tabel 4.6	Perhitungan kedalaman maksimal scouring dengan metode Nanyang Technological University	IV - 19
Tabel 4.7	Hubungan antara Yo dengan variabel-variabel dalam metode Nanyang Technological University	IV - 20
Tabel 4.8	Urutan formulasi atau metode yang menghasilkan kedalaman scouring dari yang terbesar sampai yang terkecil	IV - 32

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari banyak pulau menyebabkan diperlukan suatu sarana interkoneksi atau penghubung antar pulau yang satu dan yang lainnya. Keberadaan sarana interkoneksi antar pulau berupa alat transportasi maupun jaringan penghubung lainnya terwujud akibat hubungan saling ketergantungan antar pulau yang satu dengan yang lainnya dan diharapkan dapat mendukung dan menunjang kelancaran aktivitas antar pulau tersebut.

Kabel listrik bawah laut sebagai salah satu sarana jaringan penghubung antar pulau yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari suatu pembangkit memegang fungsi yang sangat penting. Hal ini sangat mungkin karena penyebaran penduduk yang tidak merata antar pulau dimana pulau yang padat penduduknya memiliki aktivitas yang lebih banyak baik macam maupun frekuensinya dibandingkan pulau yang masih jarang penduduknya. Dengan aktivitas yang lebih banyak maka kebutuhan akan tenaga listrik akan semakin banyak pula, sehingga pada pulau yang lebih padat penduduknya tingkat kebutuhan listriknya akan lebih besar daripada

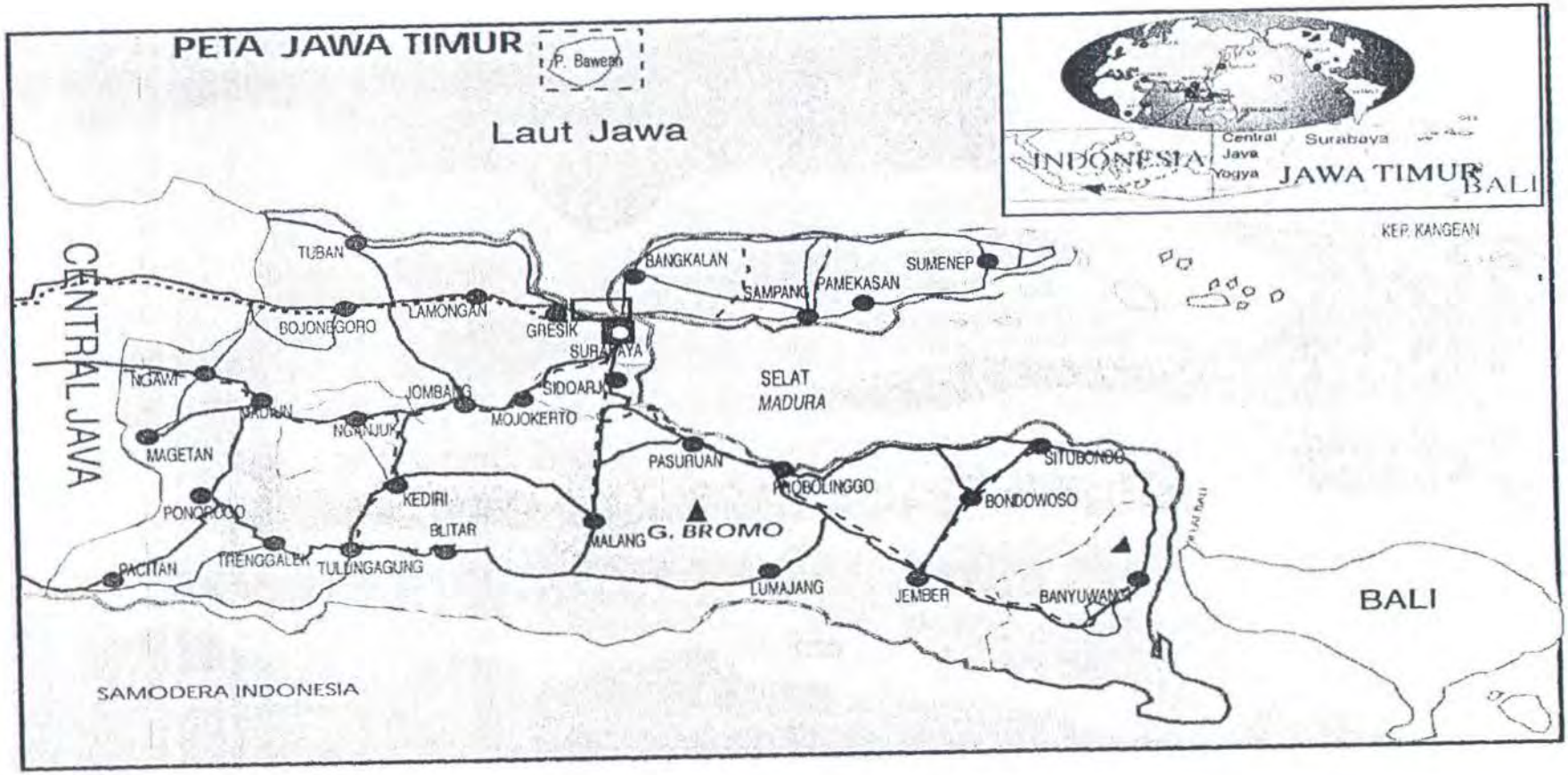
pulau yang penduduknya lebih sedikit dengan tingkat aktivitas yang lebih kecil.

MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

Kenyataan ini mengakibatkan pembangkit-pembangkit listrik berskala besar didirikan pada pulau yang lebih padat penduduknya sehingga kebutuhan listrik pada pulau-pulau lain yang masih jarang penduduknya diperoleh dari distribusi pembangkit-pembangkit tersebut (Mashud dan Situmeang, 1999).

Jenis sistem interkoneksi kelistrikan antar pulau di Indonesia yang digunakan saat ini adalah jaringan kabel listrik bawah laut. Menurut Mashud dan Situmeang (1999), cara ini dilakukan atas pertimbangan:

1. Meningkatnya kebutuhan akan energi listrik khususnya pada pulau-pulau yang terpisah dari sistem kelistrikan yang telah ada.
2. Kecenderungan dilakukannya efisiensi dengan pembangunan pembangkit berskala besar dan sistem interkoneksinya yang mendorong peningkatan kebutuhan transmisi udara maupun kabel bawah laut.
3. Dampak lingkungan menimbulkan kecenderungan untuk membangun pembangkit berskala besar jauh dari pusat pemakaian.
4. Pertumbuhan kebutuhan listrik di pulau-pulau kecil yang berdekatan dengan sumber pembangkit yang ada.



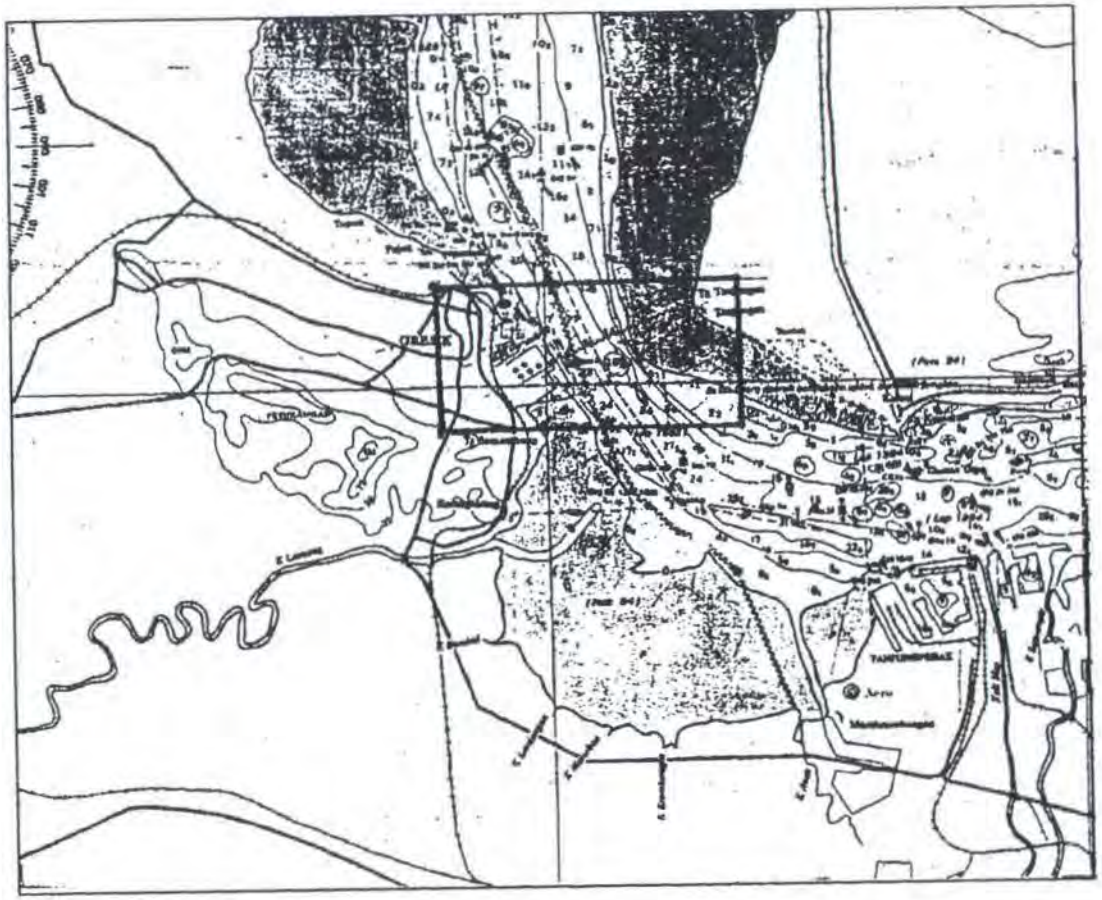
Gambar I.1. Peta Jawa Timur dan Madura

(www.eastjava.com, 1999)

walaupun telah dipasang rambu-rambu pelayaran untuk larangan jangkar resiko terkena jangkar kapal tetap harus diwaspadai.

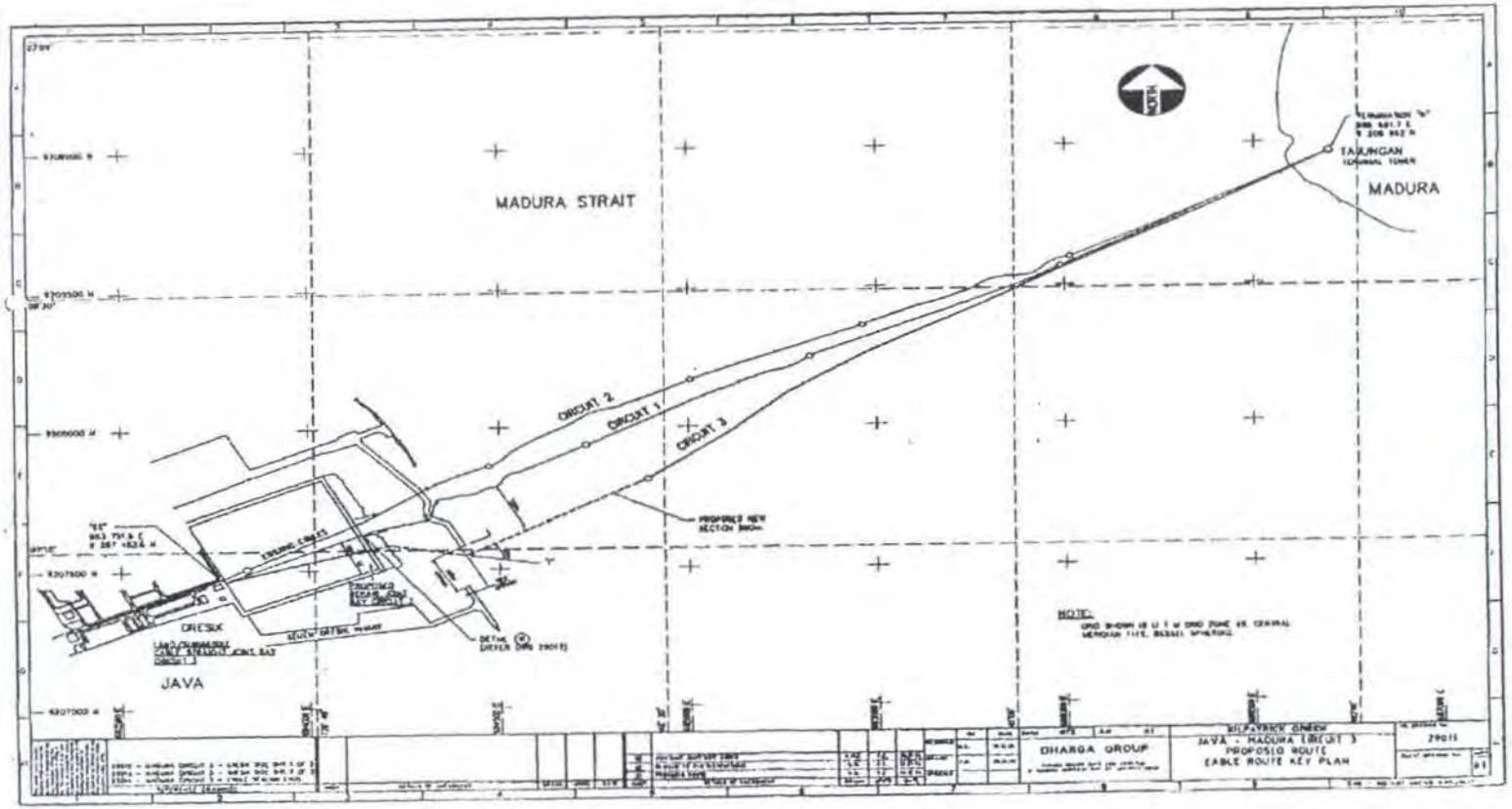
Kabel listrik bawah laut dengan jenis *Oil Filled Submarine Cables* berkapasitas 150 KV dengan diameter 15 cm dan panjang 4000 m serta memiliki 3 inti (*core*) ini, sebagian ditanam sedalam 3 m dari dasar laut sudah berulang kali putus akibat penjangkaran kapal. Kabel listrik yang terdiri dari 3 sirkit ini dan terbentang sepanjang 1,8 km pada alur pelayaran barat, selama kurun waktu 12 tahun yaitu antara tahun 1987 - 1999 telah putus sebanyak 4 kali yang disebabkan oleh kapal yang melakukan penjangkaran.

Putusnya kabel listrik bawah laut yang pertama kali terjadi pada 6 Oktober 1994 pada sirkit-2 yang terkena jangkar kapal MV Ocean Competence. Peristiwa serupa yang kedua terjadi pada 7 Maret 1996 pada sirkit-3, terkena jangkar kapal MV Festivity pada saat penggelarannya. Peristiwa ketiga terjadi pada 16 Oktober 1997 yang terkena jangkar kapal MV Bali Sea yaitu kabel listrik bawah laut sirkit-3. Putusnya kabel listrik bawah laut yang keempat terjadi pada 19 Februari 1999 pada kabel sirkit-1 dan sirkit-2 yang terkena jangkar Kapal Kota Indah.

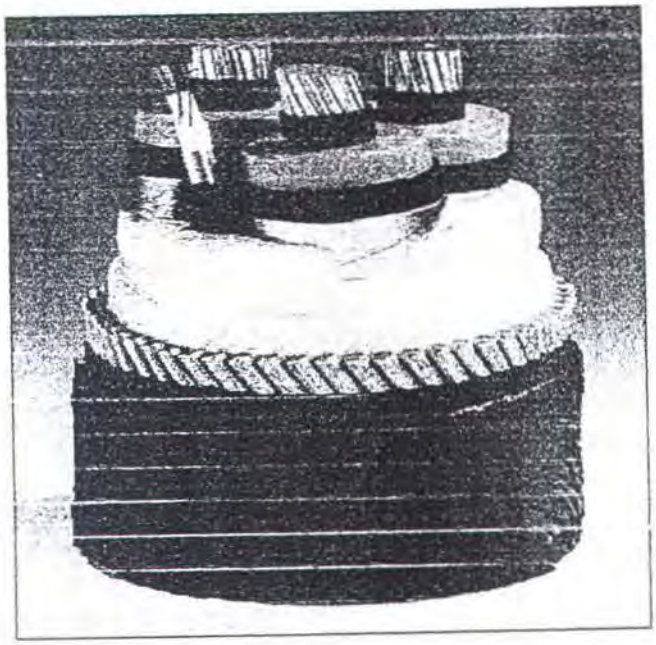


Gambar I.2. Lokasi Jalur Kabel Listrik Bawah Laut di Alur Pelayaran Barat Selat Madura

(Dinas Hidro – Oceanografi TNI-AL 1998)



Gambar I.3. Peta Lokasi Jalur Kabel Listrik Selat Madura (PLN 1996)



Gambar I.4. Potongan Kabel listrik bawah laut dengan 3 inti (core)

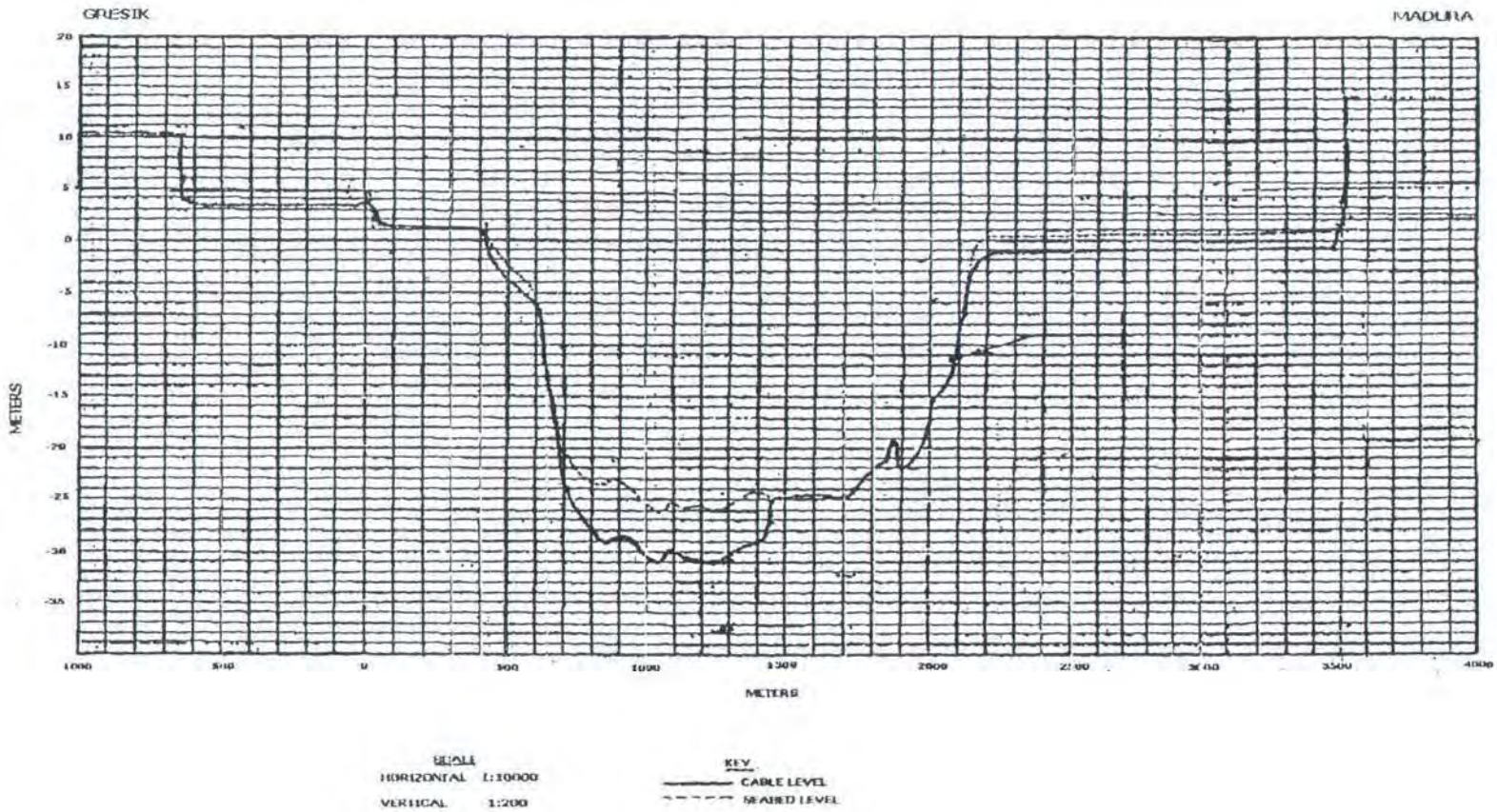
(www.offshore-technology.com/contractors/cables/pirelli, 1999)

Kronolgi putusnya kabel listrik Selat Madura dapat dilihat pada tabel I.1 berikut:

Tabel I.1. Kronologi Putusnya Kabel Listrik Selat Madura

Sirkit	Beroperasi	Rusak	Penyebab
1	12-2-1987	19-2-1999	jangkar Kapal Kota Indah
2	16-3-1987	6-10-1994	jangkar kapal MV Ocean Competence
		19-2-1999	jangkar Kapal Kota Indah
3	25-6-1997	7-3-1996	jangkar kapal MV Festivity
		16-10-1997	jangkar Kapal M V Bali Sea

(Sumber: Mahmudsyah, 1999)



Gambar I.5. Profil kedalaman bentangan kabel listrik bawah laut di Selat Madura (PLN, 1996)

Beberapa peristiwa putusnya kabel tersebut banyak menimbulkan kerugian baik pihak PLN sebagai produsen maupun warga Pulau Madura sebagai pengguna listrik. Akibat putusnya kabel listrik bawah laut tersebut, pihak PLN distribusi Jawa Timur menderita kerugian sebesar Rp 350 miliar (Sudarjat dan Bukhory, 1999, dalam Mahmudsyah, 1999) . Kerugian ini juga dirasakan oleh warga Madura sebagai konsumen dengan tingkat kebutuhan listrik sebesar 81,51 MW pada malam hari dan 23 sampai 39 MW pada siang hari (Mahmudsyah, 1999). Disebutkan pula bahwa dampak sosial dan ekonomi yang ditimbulkan yaitu terhambatnya hampir seluruh aktivitas pendidikan, perkantoran dan ekonomi warga yang mendiami pulau dengan luas 5300 km persegi tersebut.

Melihat besarnya kerugian yang ditimbulkan, maka perlu dilakukan suatu kajian dalam aspek teknis pada jalur kabel listrik tersebut sehingga dapat diperoleh informasi kuantitatif yang mungkin dapat dijadikan landasan dan pertimbangan dalam menentukan tindakan-tindakan antisipatif untuk menghindari terulangnya kejadian yang sama diwaktu mendatang.

penyebab terjadinya penggerusan atau erosi pada dasar laut. Erosi atau sering disebut sebagai *scouring* pada dasar laut dapat menyebabkan ter-*expose*-nya kabel listrik yang ditanam di bawah dasar laut atau juga menyebabkan terjadinya bentangan bebas atau sering disebut dengan *free span* pada kabel yang terletak pada *seabed*.

Atas dasar hal tersebut, maka dilakukan analisa pada jalur kabel listrik di Selat Madura sebagai bahasan pada penulisan tugas akhir ini dengan bentuk permasalahan yaitu putusnya kabel listrik bawah laut di Selat Madura diduga karena terjadi bentangan bebas pada kabel listrik bawah laut yang terletak pada *seabed* akibat *scouring* pada dasar laut sehingga memungkinkan kabel listrik tersebut putus akibat tertarik jangkar kapal.

I.3 Tujuan

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa *scouring* pada dasar laut atau *seabed* terjadi akibat pengaruh arus bawah laut dan juga sifat tanah dasar laut. *Scouring* yang terjadi dapat mencapai kedalaman tertentu. Semakin besar kedalaman *scouring* yang terjadi akan memperbesar resiko tertariknya kabel listrik oleh jangkar kapal.

Untuk itu dengan dilakukannya analisa pada jalur kabel listrik bawah laut ini maka tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui seberapa besar kedalaman maksimal *scouring* yang akan terjadi sepanjang jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura dengan menggunakan formulasi :

1. Technical University of Norway
2. Delft University of Technology
3. Nanyang Technological University

I.4 Manfaat

Hasil analisa perhitungan kedalaman *scouring* dari pengolahan data-data pada penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan suatu hasil yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dan acuan untuk perancangan instalasi-instalasi serupa di waktu mendatang.

Manfaat lain yang juga diharapkan adalah sebagai suatu acuan dan pertimbangan dalam menentukan tindakan-tindakan yang tepat untuk melindungi kabel listrik bawah laut di Selat Madura dari resiko terkena jangkar kapal sehingga tidak akan terjadi musibah serupa di waktu mendatang.

I.5 Batasan Masalah

Untuk mengarahkan kajian dalam tugas akhir ini sehingga tidak keluar dari topik yang dianalisa, maka dilakukan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Lokasi yang dianalisa adalah sepanjang jalur kabel listrik yang terbentang di perairan Selat Madura dari PLTU Gresik sampai Tanjungan dengan asumsi bentangan kabel listrik tersebut seluruhnya terletak pada dasar laut (kondisi ekstrim).
2. Analisa *scouring* yang dilakukan merupakan analisa 2-dimensi.
3. Pengaruh *settlement* tanah dasar laut diabaikan.
4. Pengaruh *sediment transport* tidak diperhitungkan karena menurut Chiew dan Melville (1987) dalam Chiew (1997), hal tersebut akan menghasilkan kesetimbangan dinamis antara proses *scouring* dan *sediment influx* (deposisi) , sehingga akan menghasilkan kedalaman *scouring* yang kecil.
5. Kondisi arus adalah fluida dengan kondisi *uniform flow*.
6. Kecepatan arus yang digunakan adalah kecepatan arus bawah (*bottom current*) dalam segala arah, dalam hal ini adalah arus akibat pasang surut atau disebut dengan *unidirectional current* (Stride, 1982) dan juga sebagai bahan perbandingan diperhitungkan pula kecepatan arus akibat pengaruh gelombang (*wave current*).

7. Penggunaan data tinggi gelombang dan perhitungan panjang gelombang tidak mempertimbangkan factor pendangkalan (*Shoaling*).
8. Kecepatan arus akibat pengaruh angin (*wind driven current*) tidak diperhitungkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

II.1 Tinjauan Pustaka

Evans dan Adamchak (1969) mengatakan bahwa arus yang disebabkan pasang dan surut dapat menyebabkan terjadinya erosi atau *scouring* pada dasar laut. Pengaruh arus tersebut mempunyai efek yang sangat besar sekali di selat atau celah perairan yang menyempit (*narrow entrancement*).

Kedalaman lubang *scouring* yang cukup besar dapat terjadi pada kondisi gelombang tertentu. Gelombang yang terjadi akibat angin pada perairan dangkal akan menghasilkan kecepatan arah vertikal maupun horisontal pada dasar laut yang dapat menyebabkan *scouring* maupun deposisi sedimen (Herbich, 1977).

Pada *surf zone* atau pada area dimana arus bawahnya sangat besar Mousselli (1981) menyatakan bahwa sedimen di dasar laut akan tererosi, tersuspensi dan terdeposisi dimana mekanismenya terjadi sangat komplek dan tergantung dari sifat material sedimen dasar laut yaitu ukuran butiran dan *spesific gravity*. Dikatakan pula bahwa penanaman pipa bawah laut akan efektif bila dilakukan pada

kedalaman tertentu dibawah kedalaman erosi dan jangkauan penetrasi jangkar

Pada instalasi bawah laut baik pipa maupun kabel bawah laut mempunyai kemungkinan untuk mengalami resiko kerusakan atau kegagalan. Kerusakan pada instalasi bawah laut menurut Halliwell (1986) dapat disebabkan oleh arus dan gelombang, *scouring*, penjangkaran kapal, dan aktivitas penangkapan ikan. Selanjutnya dikatakan pula bahwa fluktuasi tekanan dan kecepatan aliran di bawah laut dapat menyebabkan terbentuknya lubang *scouring* pada sedimen di bawah pipa bawah laut dan lubang *scouring* yang cukup panjang pada jalur pipa memungkinkan pipa terkena tarikan jangkar dan Panel Jala.

Gerwick (1986) dalam Pratikto (1999) menyatakan bahwa perbedaan antara pipa bawah laut dan kabel bawah laut adalah terletak pada flexibilitas Kabel bawah laut yang lebih besar dari pada pipa.

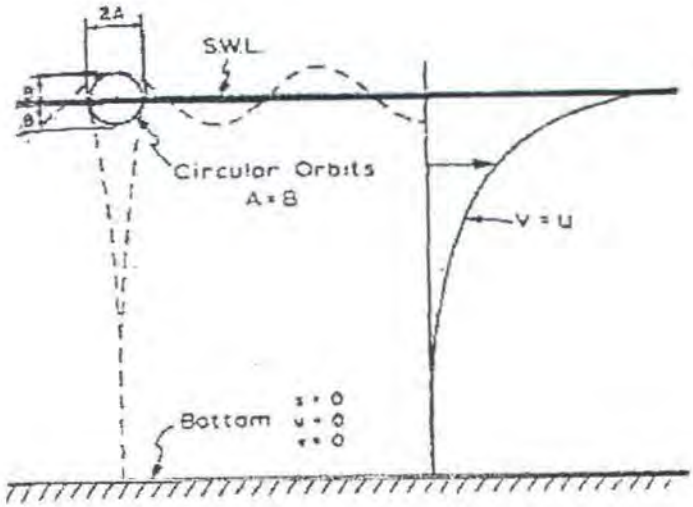
Lubang scour menyebabkan bentangan bebas, pada bentangan yang cukup panjang dapat menimbulkan kerusakan struktur pipa akibat osilasi arus yang teresonansi (Chiew, 1997)

II.2 Landasan Teori

II.2.1 Kecepatan Arus Akibat Gelombang

Chakrabarti (1987) memaparkan bahwa gelombang yang terjadi pada perairan menyebabkan pergerakan partikel air secara orbital yang berlangsung sampai kedalaman tertentu. Pergerakan tersebut akan membentuk profil *exponential decay*. *Exponential decay* dapat dijelaskan sebagai suatu penurunan besar kecepatan partikel air secara eksponen seiring dengan bertambahnya kedalaman perairan. Profil *exponential decay* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Demikian pula halnya dengan kecepatan arus akibat gelombang. Kecepatan arus akibat gelombang atau disebut dengan *wave-current speed* juga membentuk profil *exponential decay* (Kinsman, 1965).



Gambar 2.1. Profile *Exponential Decay* (Chakrabarti, 1987).

Kecepatan arus akibat gelombang, *wave-current speed*, pada kedalaman perairan tertentu dapat dihitung dari suatu formulasi dalam Kinsman (1965):

$$U^* = k^2 \cdot a^2 \cdot c \cdot e^{2kd} \quad \text{.....(2.1)}$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad \text{.....(2.2)}$$

$$c = \frac{L}{T} \quad \text{.....(2.3)}$$

$$\delta = \frac{H}{L} \quad \text{.....(2.4)}$$

dimana;

u* : kecepatan arus akibat gelombang (m/det)

δ : *wave steepness*

c : kecepatan gelombang (m/det)

k : angka gelombang

L : panjang gelombang (m)

d : kedalaman perairan dibawah SWL (m)

T : periode (det)

a : amplitudo gelombang (m)

Dengan mensubsitusikan persamaan (2.2) dan (2.4) kedalam persamaan (2.1) maka diperoleh persamaan kecepatan arus akibat pengaruh gelombang seperti dalam persamaan (2.5).

$$U^* = \pi^2 \cdot \delta^2 \cdot c \cdot e^{2kd} \quad \text{.....(2. 5)}$$

Kecepatan arus akibat pengaruh gelombang pada permukaan dihitung dengan memasukkan nilai d=0, sehingga didapat persamaan berikut:

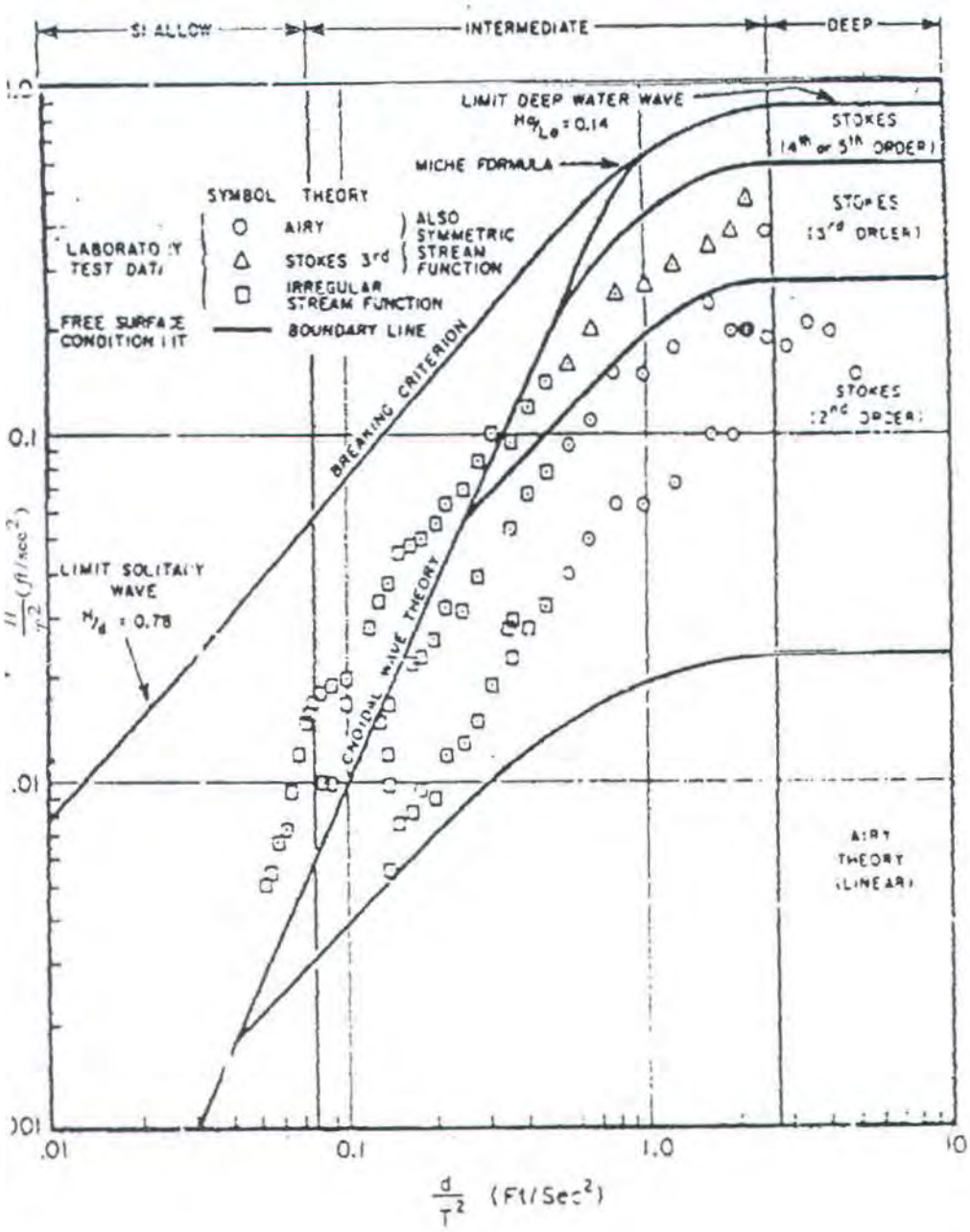
$$U^* = \pi^2 \cdot \delta^2 \cdot c \quad \text{.....(2. 6)}$$

Dalam Chakrabarti (1987), kecepatan gelombang ditentukan harganya berdasarkan teori gelombang yang berlaku. Untuk tujuan tersebut maka dilakukan pengujian terhadap nilai tinggi gelombang, H, dan periode gelombang, T, ke dalam suatu rentang validitas teori gelombang atau disebut dengan *region validity of wave theory* seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Pada Gambar tersebut dimasukan harga perbandingan antara tinggi gelombang, H, dan kuadrat periode gelombang,T^2, dan juga perbandingan antara kedalaman perairan, d, dan T^2. Harga-harga yang didapat dari perbandingan tersebut digunakan untuk menentukan teori gelombang yang.berlaku.

Formulasi kecepatan gelombang, *wave celerity,* di dalam Chakrabarti (1987) untuk beberapa teori gelombang tertentu adalah sebagai berikut:

1. Linier Airy dan Stokes orde-2

$$c_0 = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd \qquad \text{.....(2. 7)}$$



Gambar 2.2. Rentang Validitas Teori Gelombang

(Chakrabarti, 1987).

2. Stokes orde-3

$$c^2 = c_0^2 \left\{ 1 + \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \left[\frac{9 - 9\cosh^2 kd + 8\cosh^4 kd}{8\sinh^4 kd} \right] \right\} \quad \text{.....(2.8)}$$

3. Stokes orde-5

$$c^2 = c_0^2 (1 + \lambda^2 C_1 + \lambda^4 C_2) \quad \text{.....(2.9)}$$

$$C_1 = \frac{(8C^4 - 8C^2 + 9)}{8S^4} \quad \text{.....(2.10)}$$

$$C_2 = \frac{(3840C^{12} - 4096C^{10} + 2592C^8 - 1008C^6 + 5944C^4 - 1830C^2 + 147)}{512S^{10}(6C^2 - 1)} \quad \text{.....(2.11)}$$

C = cosh kd.....(2.12)

S = sinh kd.....(2.13)

dimana;

λ : koefisien untuk Stokes orde-5

4. Cnoidal

$$c = (gd)0.5 \left[1 + \frac{H}{d} \frac{1}{k^2} \left(\frac{1}{2} - \frac{E(k)}{K(k)} \right) \right] \quad \text{.....(2.14)}$$

dimana;

K(k) : integral eliptik jenis pertama dalam modulus k

E(k) : integral eliptik jenis kedua dalam modulus k

Dalam formulasi kecepatan gelombang di atas nilai variable panjang gelombang, L, dapat dihitung dengan persamaan:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh 2kd \quad \text{.....(2.15)}$$

Perhitungan nilai L pada persamaan (2.15) merupakan proses perhitungan yang bersifat iteratif karena k pada tanh kd juga memuat variabel L. Untuk menentukan nilai L dalam k maka dihitung dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \text{.....(2.16)}$$

Hasil yang diperoleh dari persamaan (2.16) kemudian digunakan untuk menghitung L pada persamaan (2.15) dengan melakukan iterasi sampai diperoleh *error* yang terkecil.

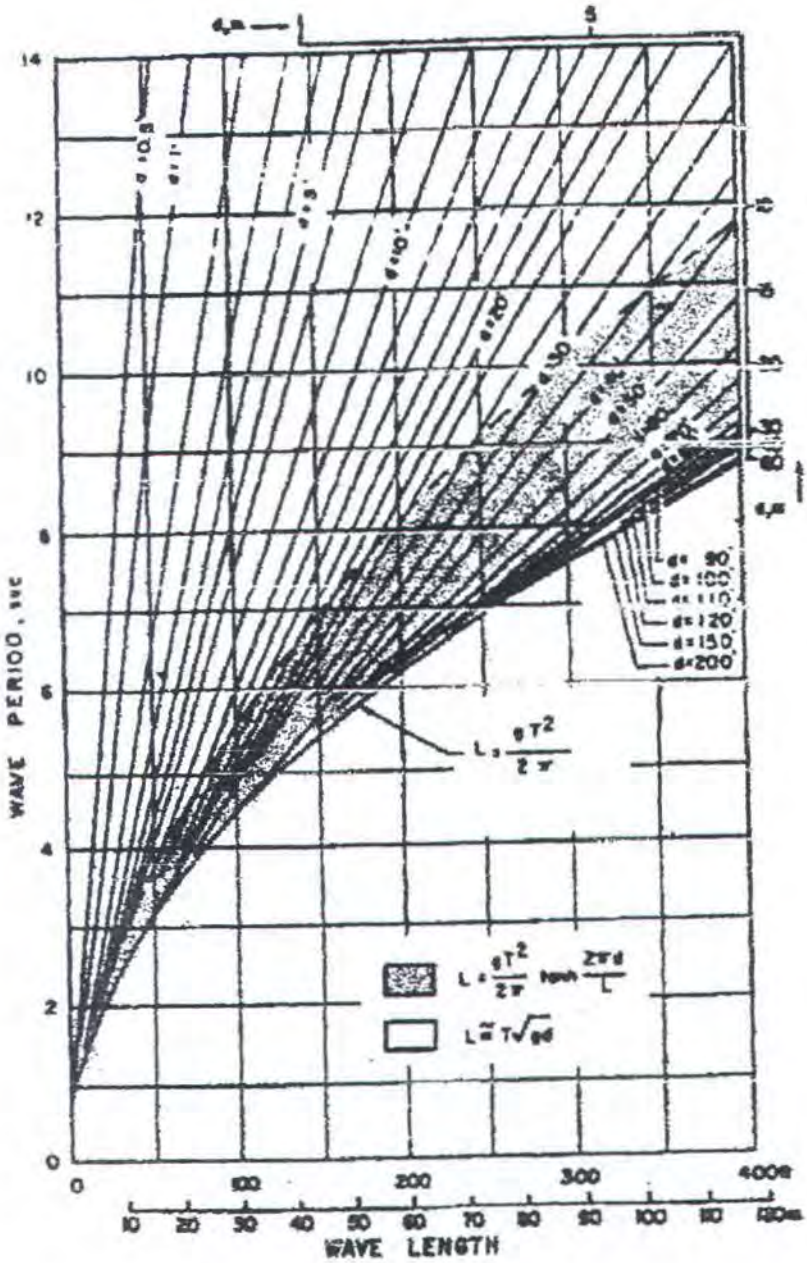
Perhitungan panjang gelombang juga dapat dilakukan dengan cara pengklasifikasian jenis perairan berdasarkan perbandingan nilai d/L. Untuk kondisi deep water nilai d/L>0.5, kondisi intermediate 0.05<d/L<0.5 dan untuk kondisi *shallow water* dengan harga d/L<0.05. Nilai L untuk Kondisi *deep water* dihitung dengan persamaan (2.16), sedangkan untuk kondisi *intermediate* serta shallow water digunakan persamaan (2.17) dan (2.18).

$$L = L_0 [\tanh(2kd)]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....(2.17)}$$

dimana; $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$

$$L = T\sqrt{gd} \quad \text{.....(2.18)}$$

Nilai L terhadap d dan T diperlihatkan dalam suatu *nomographs* pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Panjang Gelombang Terhadap Kedalaman dan Periode Gelombang (Le Mehaute, 1927).

II.2.2 Arus Pasang Surut

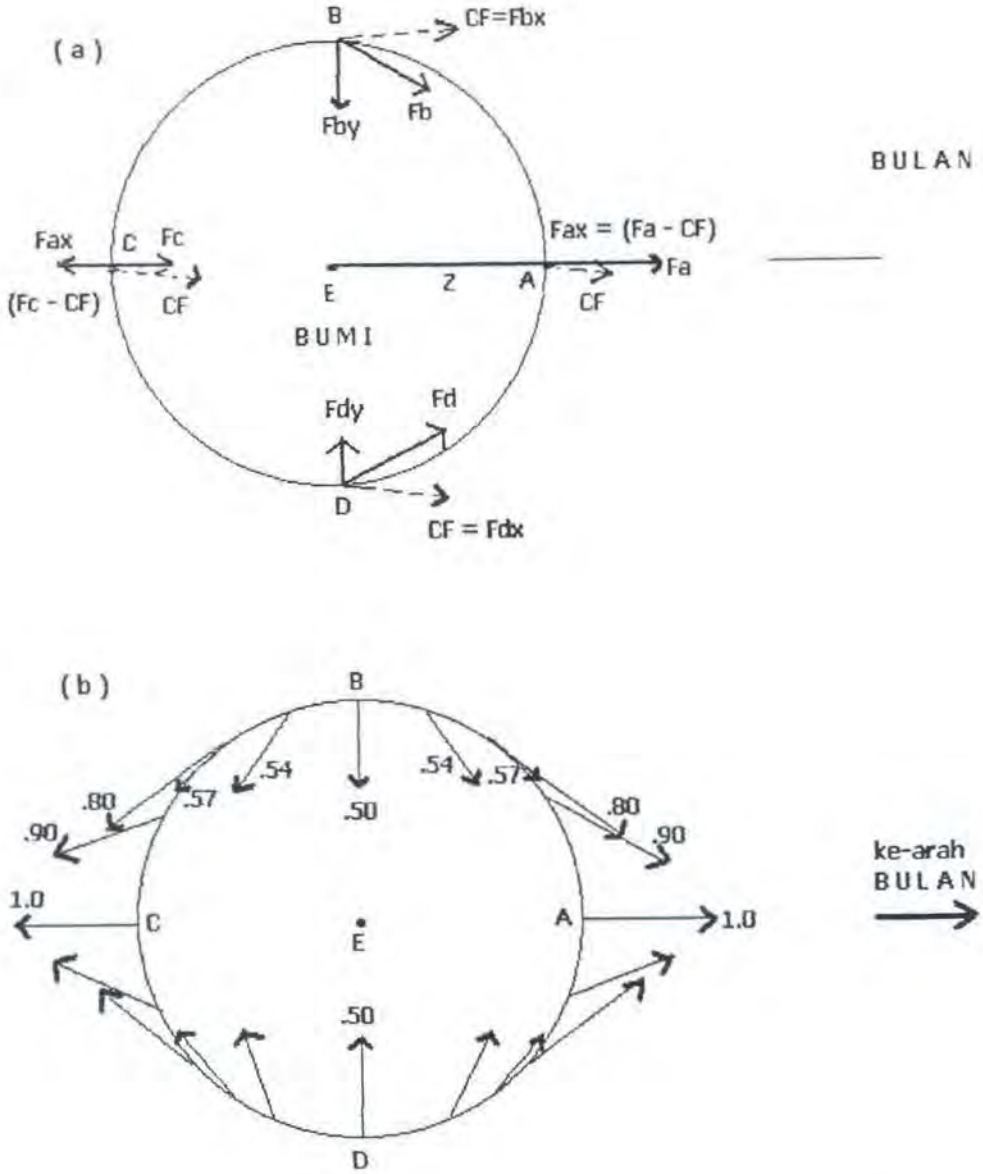
MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Pasang surut atau pasut adalah perubahan ketinggian muka air laut (*sea level*) yang disebabkan oleh gerak gravitasi bulan dan matahari dan benda langit lain pada perputaran bumi (Pratikto *et al.*, 1997).

Menurut Pariwono (1989) dalam Ongkosono dan Suyarso (1989) terdapat tiga gerakan utama yang menentukan "denyut" paras laut di bumi ini, yaitu:

1. Revolusi bulan terhadap bumi, dimana orbitnya berbentuk elips dan memerlukan waktu 29,5 hari untuk menyelesaikan revolusinya.
2. Revolusi bumi terhadap matahari, dimana orbitnya berbentuk elips juga dan periode yang diperlukan untuk ini adalah 365,25 hari.
3. Perputaran bumi terhadap sumbunya sendiri dan waktu yang diperlukannya adalah 24 jam (*one solar day*).

Matahari mempunyai massa sekitar 2.7×10^7 massa bulan, tetapi pengaruh gravitasi bulan ke bumi lebih besar 2 kali dari pada pengaruh gravitasi matahari (Pratikto *et al.*, 1997). Proses skematik gaya tarik bulan terhadap bumi dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skematik Gaya Tarik Bulan Terhadap Bumi.

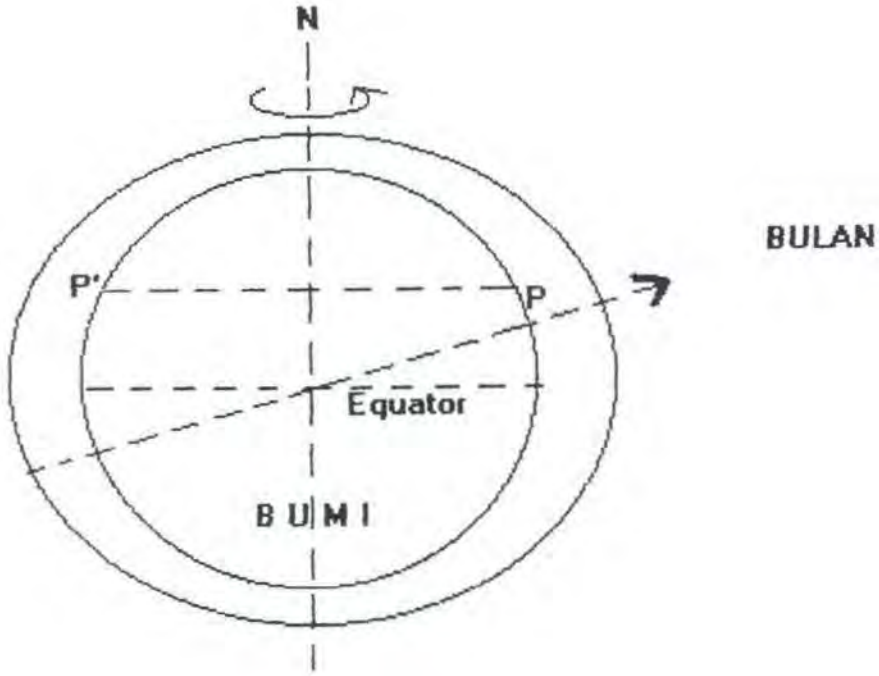
(Pariwono, 1989, dalam Ongkosono dan Suyarso, 1989)

Gambar tersebut menunjukkan gaya tarik bulan yang bekerja pada empat titik A, B, C, dan D. Pada Gambar 2.4 (a) gaya yang bekerja pada keempat titik tersebut diberi tanda berturut-turut dengan Fa, Fb, Fc, dan Fd. Bumi dan bulan tidak bertabrakan dikarenakan

adanya gaya centripetal, CF. Gaya sentripetal pada Gambar 2.4 (a) adalah gaya yang sejajar dengan sumbu EZ.

Dalam Ongkosono dan Suyarso (1989), Pariwono (1989) menjelaskan bahwa komponen gaya Fby atau Fdy adalah gaya residu yang diperoleh dari penggabungan CF dengan Fb atau Fd dimana arahnya menuju ke dalam bumi dan besar Fby = Fdy-CF/60. Pada titik A gaya residunya adalah Fax=Fa-CF dan vektornya mempunyai arah yang meninggalkan bumi. Di titik C besarnya Fcx=Fc-CF dimana besarnya Fax = Fcx-CF/30 yaitu sama dengan Fax di titik A, tetapi mempunyai arah yang berlawanan. Dalam keadaan sesungguhnya Fax lebih besar 5% dari Fcx. Pada titik-titik yang berada pada busur BC, BA, DC, dan DA, gaya residunya mempunyai arah yang berubah secara beraturan dari arah kedalam bumi seperti pada titik B, sampai dengan arah yang meninggalkan bumi seperti pada titik A (Gambar 2.4 (b)). Gaya-gaya residu tersebut dikenal sebagai sebagai gaya penggerak pasang-surut (Pariwono, 1989, dalam Ongkosono dan Suyarso, 1989). Dikatakan pula bahwa reaksi laut di bumi terhadap gaya penggerak pasut tersebut dikenal sebagai pasut ekuilibria (*equilibrium tide*) dengan asumsi bahwa seluruh muka bumi tertutup oleh air. Meskipun asumsi ini tidak realistik, namun konsep tersebut berguna untuk menunjukkan sifat-sifat pasut yang

sesungguhnya secara kuantitatif. Teori ini menyatakan bahwa naiknya paras laut sebanding dengan potensi gaya penggerak pasut.



Gambar 2.5. Sebaran Pasut Ekuilibria Oleh Bulan

(Pariwono, 1989, dalam Ongkosono dan Suyarso , 1989).

Pada Gambar 2.5 diperlihatkan sebaran pasut ekulibria secara skematik yang disebabkan oleh bulan. Elevasi paras laut terjadi pada titik *sublunar* dan titik yang bertolak belakang dengan titik *sublunar*. Titik *sublunar* adalah titik di bumi yang jaraknya terdekat dengan bulan. Pada suatu lokasi tertentu misalnya pada titik P, akan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut. Gejala ini

disebut dengan pasut tengah harian (*semi diurnal tide*). Elevasi paras laut pada titik P dan P' tidak sama ini disebabkan oleh adanya sudut deklinasi bulan terhadap bumi.

Pasang surut mempunyai periode yang cukup lama, sehingga gelombang akibat pasut merupakan gelombang panjang yang merambat seperti gelombang pada perairan dangkal (*shallow water*) meskipun pasut terjadi pada laut yang paling dalam (Pratikto *et al.*, 1997).

Hal serupa juga terjadi pada arus pasut. Kinsman (1965) mengatakan bahwa arus pasut di lepas pantai atau perairan terbuka (*open sea*) efeknya sangat kecil sehingga biasanya diabaikan, tetapi pada perairan dangkal, selat dan pantai arus akibat pasut menghasilkan perubahan langsung yang cukup besar.

II.2.3 Definisi Dan Jenis Scouring

Interaksi antara aliran fluida dan sedimen dasar laut yang bersifat erosif di sekitar struktur instalasi bawah laut yang berbentuk silinder dalam hal ini pipa maupun kabel listrik akan menyebabkan terjadinya *scouring* atau *erosion* (Chiew, 1997). *Scouring* atau *erosion*

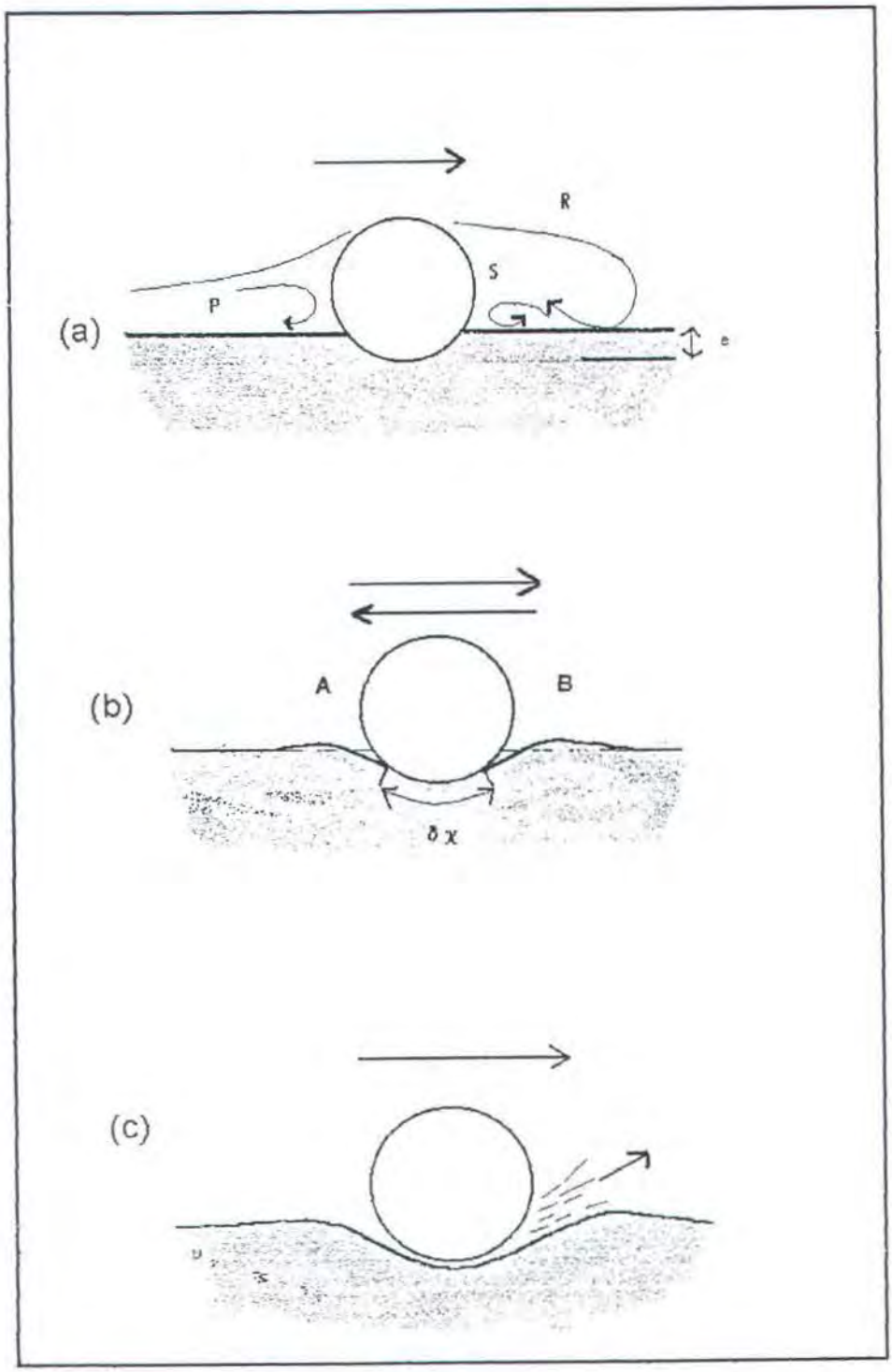
terjadi akibat pengikisan atau penggerusan pada sedimen di bawah struktur silinder bawah laut (pipa atau kabel) akibat fluktuasi tekanan dan kecepatan aliran fluida (Halliwell, 1986).

Berdasarkan pada suatu pengujian di laboraturium oleh Bijker dan Leeuwestein (1984) serta Mao (1986) dalam Chiew (1997), dapat diidentifikasi tiga bentuk dasar dari *scouring*, yaitu :

1. *Luff scour* atau *luff erosion*, yaitu *scouring* yang terjadi pada *upstream* (bagian depan struktur yang berhadapan dengan arah datangnya aliran) pipa akibat formasi *eddy* pada *upstream* pipa.
2. *Lee-wake scour* atau *lee-wake erosion*, yaitu *scouring* yang terjadi pada bagian *downstream* (bagian belakang struktur yang tidak berhadapan langsung dengan arah datangnya aliran) pipa dikarenakan oleh aliran melewati pipa dan terjadi pembangkitan turbulensi pada *downstream* pipa
3. *Tunnel scour* atau *tunnel erosion*, yaitu terjadi di bawah pipa dan merupakan akibat langsung dari pertambahan kecepatan aliran di bawah pipa .

Proses terbentuknya tiga jenis *scouring* pada kondisi arus tetap (*steady current*) tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6 yang menjelaskan prilaku *vortex flow* pada instalasi bawah laut. *Vortex*

flow atau disebut juga dengan *circular flow* adalah aliran *irrotational* dengan kecepatan yang arahnya memutar (Le Mehaute 1927).



Gambar 2.6. Tiga jenis system *vortex* dan proses terjadinya *scouring* (Chiew, 1997)

Didefinisikan pula bahwa *irrotational* merupakan gerakan dari partikel fluida dimana kecepatan angular searah sumbu y sama dengan kecepatan angular searah sumbu X atau secara matematis dapat dinyatakan $\frac{\partial U}{\partial Y} - \frac{\partial V}{\partial X} = 0$.

Pada Gambar 2.6 (a) *luff scour* terjadi akibat *vortex* P sedangkan *vortex* R menyebabkan terjadinya *lee-wake scour*. Kedua *vortex* tersebut menggerus sedimen di bawah instalasi dan menghasilkan bentuk *scouring* pada Gambar 2.6 (b), dimana terjadi perubahan panjang keliling silinder yang menyentuh dasar laut yaitu sebesar δX.

Awal dari terbentuknya *tunnel scour* disebabkan oleh *vortex* P dan S yang mengikis lapisan sedimen di bawah silinder sehingga δX akan semakin mengecil sampai terbentuk suatu celah atau *gap* . Formasi yang demikian itu merupakan awal terbentuknya *tunnel scour*. *Tunnel scour* pada Gambar 2.6 (c) akan terus berlangsung sampai terjadinya kesetimbangan yaitu ketika besarnya gaya geser dan usikan turbulensi tidak mampu untuk membawa material sedimen dari lubang *scouring* Chiew (1990) dalam Chiew (1997).

II.2.4 Perhitungan Untuk Memprediksi Kedalaman Maximal Scouring

Penelitian-penelitian untuk memprediksi kedalaman *scouring* telah banyak dilakukan pada pipa bawah laut yang terletak pada permukaan dasar laut. Dalam Chiew (1997), beberapa penelitian untuk memprediksi kedalaman *scouring* telah dilakukan oleh:

1. Technical University of Norway
2. Delft University of Technology
3. Nanyang Technological University

Perbedaan formulasi dari hasil penelitian tersebut secara umum terletak pada penggunaan variabel diameter butiran dan pengaruh kedalaman arus (*flow depth*).

II.2.4.1 Technical University of Norway

Kjeldsen *et al* (1973) dalam Chiew (1997) melakukan penelitian di laboraturium *flume* Technical University of Norway untuk menyelidiki lokal *scouring* pada pipa bawah laut pada kondisi fluida *unidirectional current* (arus dalam segala arah) dan kondisi lingkungan dimana terjadi transportasi sedimen atau disebut dengan *live-bed condition*. Pada kondisi lingkungan tersebut

lubang *scouring* akan tertimbun kembali oleh sedimen yang terbawa oleh aliran fluida. Sehingga menurut Chiew dan Malville (1987) dalam Chiew (1997) harga kesetimbangan kedalaman *scouring* pada *live-bed condition* akan lebih kecil dari pada *clear-water condition*. Pada penelitian yang dilakukan tersebut, pengaruh kedalaman arus dan besarnya diameter butiran tidak diperhitungkan.

Dari Hasil uji coba di laboraturium *flume* tersebut, Kjeldsen *et al* (1973) dalam Chiew (1997) berhasil menemukan formulasi empiris untuk menghitung kedalaman maksimal *scouring* yaitu sebagai berikut:

$$d_s = 0.972 \left(\frac{V_o^2}{2g} \right)^{0.2} \cdot D^{0.8} \qquad \text{.....(2.19)}$$

dimana;

ds : kedalaman scouring (m)

Vo : kecepatan arus (m/det)

D : diameter pipa (m)

g : percepatan gravitasi (m/det^2)

II.2.4.2 Delft University of Technology

Kedalaman *scouring* diformulasikan dengan persamaan empiris yang agak mirip dengan persamaan (2.19), namun Bijker dan Leeuwestein (1984) dalam Chiew (1997) juga mempertimbangkan variabel diameter butiran tanah sebagai salah satu parameter dalam menentukan kedalaman scouring

Dengan menggunakan formulasi yang dihasilkan oleh Kjeldsen *et al* (1973) dalam Chiew (1997), tim peneliti Belanda menemukan formula yang agak sedikit berbeda dari persamaan (2.19) yaitu sebagai berikut:

$$d_s = 0.979\left(\frac{V_o^2}{2g}\right)^{0.26} \cdot D^{0.78} \cdot d_{50}^{-0.04} \qquad \text{.....(2.20)}$$

dimana;

ds : kedalaman scouring (m)

Vo : kecepatan arus (m/det)

D : diameter pipa (m)

g : percepatan gravitasi (m/det^2)

d_{50} : ukuran butiran pada ayakan no.50 (m)

Dari penelitian yang mereka lakukan, mereka menyimpulkan bahwa kedalaman scouring pada kondisi *unidirectional current* akan lebih besar dari pada kondisi akibat pengaruh pergerakan gelombang murni maupun kombinasi antara gelombang dan arus pada tegangan geser dasar laut yang sama.

II.2.4.3 Nanyang Technological University

Chiew (1991) dalam Chiew (1997) memberikan perhitungan kesetimbangan kedalaman maximum *scouring* dengan berdasarkan pada dua kondisi berikut:

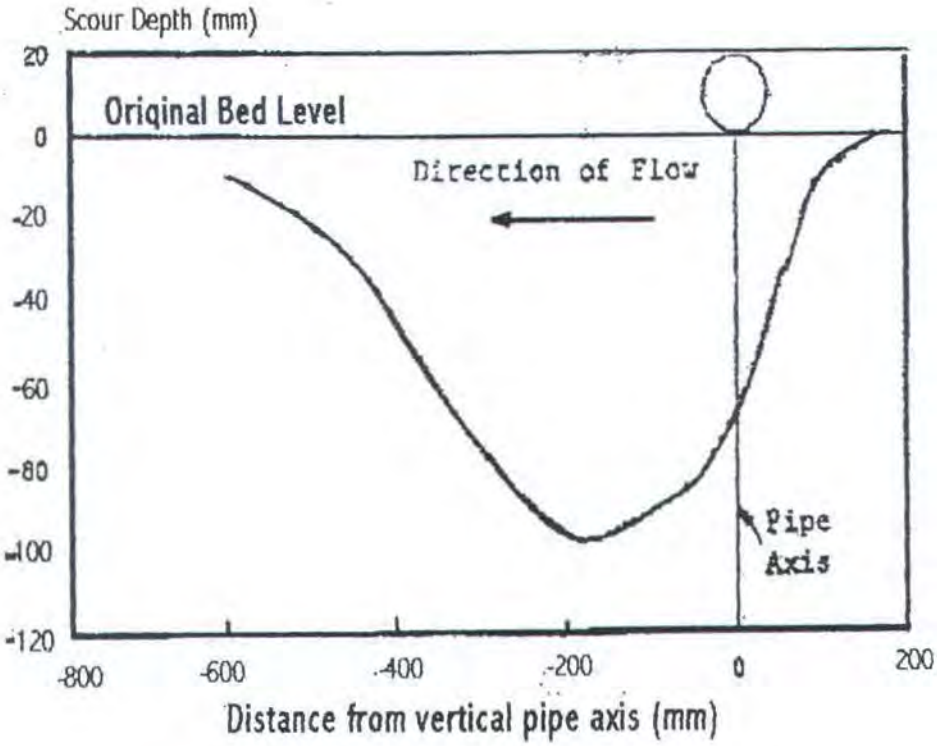
1. *Clear-water condition,* yaitu kondisi dimana tidak terdapat tranportrasi sedimen di *upstream* lokasi terbentuknya *scouring. Undisturb shear stress* pada dasar laut sama dengan *critical shear stress* untuk *entrainment sediment.*
2. *Scouring* terjadi pada kondisi *unidirectional current* .

Hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat dari Gambar 2.7(a). Pada kondisi tersebut kesetimbangan terjadi ketika harga tegangan geser pada dasar laut yang melewati *gap* di bawah pipa sama dengan tegangan geser kritis pada lubang *scouring*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada aliran di *gap* dengan kondisi aliran *shallow open channel* , Chiew (1991) dalam Chiew (1997) menemukan bahwa besarnya aliran yang melewati *gap* tergantung dari *undisturb flow depth,* Yo, diameter pipa, D, dan kedalaman *scouring,* d_s. Variabel-variabel tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.7(b). Dari Le Mehaute (1927) dapat analogikan bahwa *Undisturbed flow* mempunyai pengertian yang sama dengan *free stream* (aliran bebas) yaitu suatu area diluar *boundary layer* dimana tidak terpengaruh efek dari viskositas fluida yang menyebabkan terjadinya *boundary layer* akibat melewati struktur *streamline,* dalam hal ini pipa. Secara grafis pada Gambar 2.7(c) diperlihatkan bahwa aliran yang melewati suatu struktur baik pelat datar maupun *streamline* akan terbagi menjadi dua wilayah yaitu *boundary layer* dan *free stream.* Pada wilayah *boundary layer* kecepatan arus pada dinding bernilai nol dan akan terus bertambah sampai pada wilayah *free stream* sesuai dengan kecepatan fluida yang sesungguhnya. Jadi berdasarkan uraian tersebut maka istilah *undisturbed flow depth* merupakan suatu kedalaman aliran arus yang dihitung dari *seabed* yang mana aliran tersebut terbebas dari pengaruh efek viskositas fluida yang menyebabkan terjadinya *boundary layer* disekitar struktur dalam hal ini pipa atau kabel bawah laut.

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Pada metode ini, perhitungan untuk memprediksi kedalaman *scouring* diawali dengan membandingkan harga yo/D, dimana yo adalah *undisturb flow depth* dan D adalah diameter pipa atau kabel.



Gambar 2.7.a. Profil Tipikal Ketesimbangan *Scouring*.

(Chiew, 1997)

Perbandingan tersebut digunakan untuk menentukan harga q' pada Gambar 2.8. Dimana q' merupakan rasio antara q_{bot} dan q_o. Nilai q_o dihitung dengan persamaan berikut:

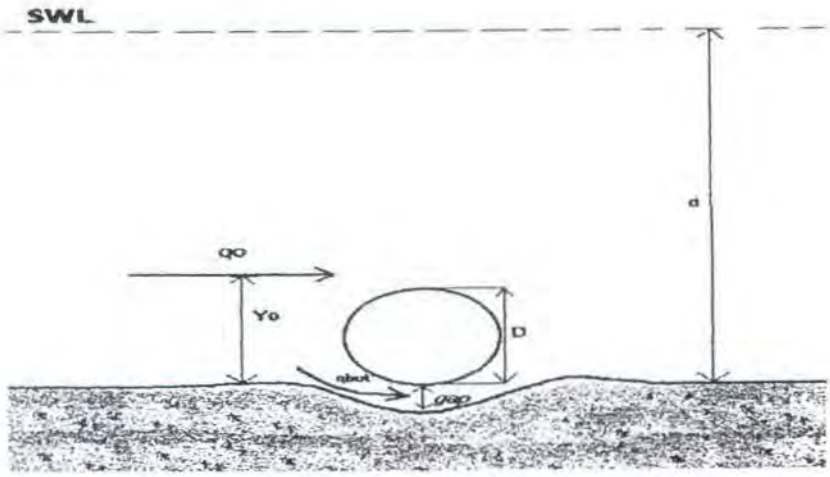
$$q_o = yo * Vo \quad \text{.....(2.21)}$$

dimana:

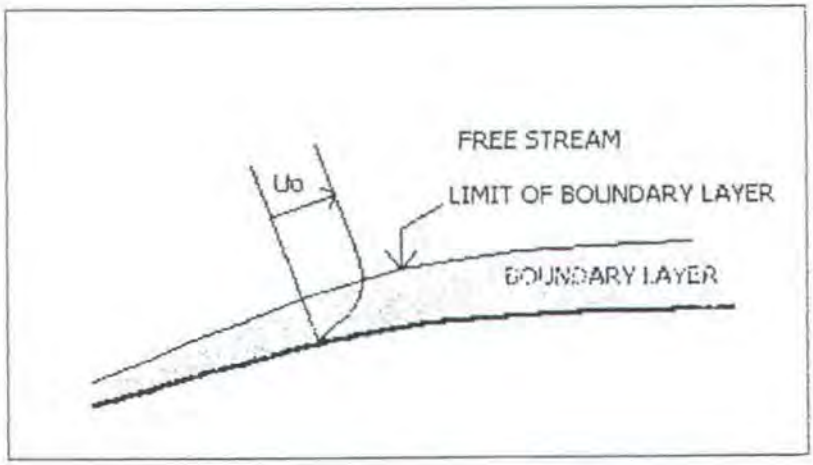
q_o : debit aliran sepanjang yo persatuan panjang ke arah panjang pipa (m^2/det)

yo : *Undisturb flow depth* (m)

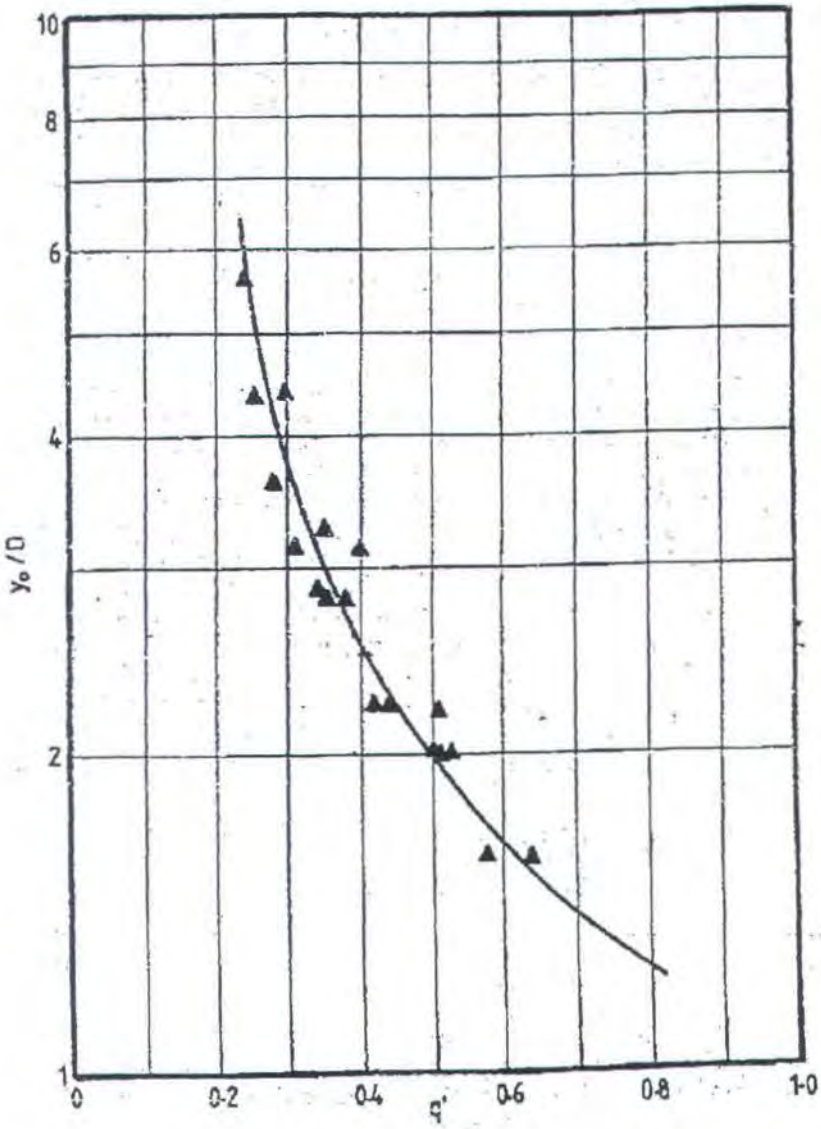
Vo : Kecepatan arus (m/det)



Gambar 2.7.b. Variabel-Variabel Yang Menentukan Besarnya Aliran Pada *Gap*.



Gambar 2.7.c. Wilayah Yang Terjadi Pada Aliran yang Melewati Struktur (Le Mehaute, 1927)



Gambar 2.8. Pengaruh Yo/D pada q_{bot} (q') (Chiew, 1997).

Selanjutnya harga kecepatan rata-rata aliran di bawah pipa dapat ditentukan dengan terlebih dahulu mengasumsikan harga kedalaman scouring. Kecepatan rata-rata aliran di bawah pipa dihitung dengan persamaan:

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}} \quad \text{.....(2.22)}$$

dimana:

Vbot : kecepatan rata-rata aliran dibawa pipa (m/det)

qbot : debit aliran yang melewati gap persatuan panjang ke arah panjang pipa (m^2/det)

$(ds)_{est}$: asumsi kedalaman maximal scouring (m)

Tegangan geser pada lubang scouring dihitung dengan persamaan:

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8} \quad \text{.....(2.23)}$$

dimana:

τ_{bot} : tegangan geser pada lubang *scouring*(pa)

f : faktor gesekan

ρ : densitas fluida (Kg/m^3)

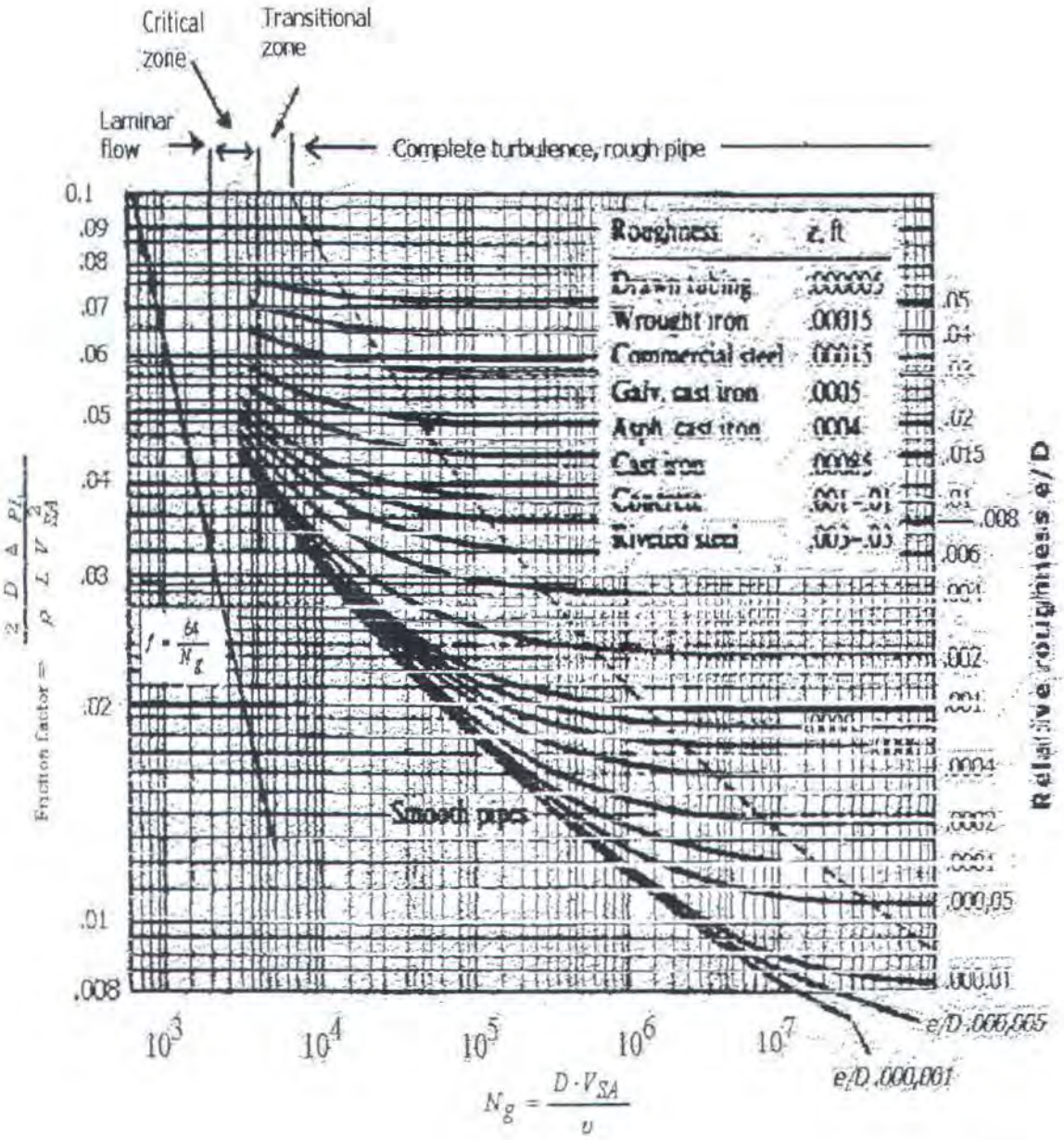
Faktor gesekan dihitung dari diagram Moody pada Gambar 2.9 berdasarkan harga kekasaran relative dan *Reynold Number*,Re, dalam persamaan berikut:

$$\text{Kekasaran relative} = \frac{d_{50}}{(d_s)_{est}} \quad \text{.....(2.24)}$$

$$Re = \frac{V_{bot} \times (d_s)est}{\upsilon} \quad \text{.....(2.25)}$$

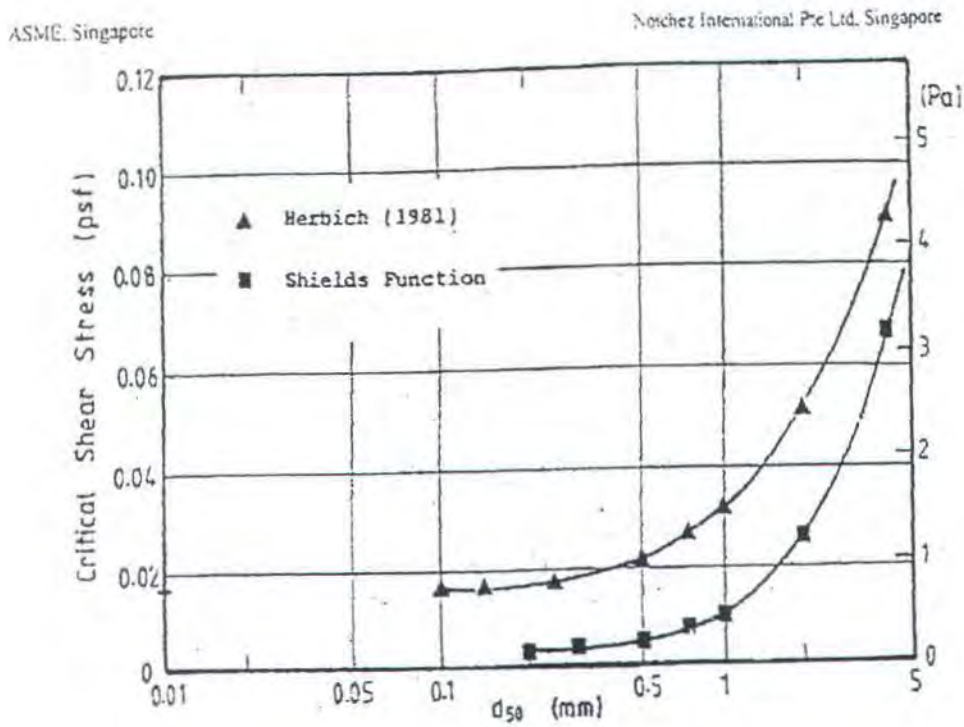
Dimana:

ν : viskositas kinematis (m^2/det)



Gambar 2.9. Diagram Moody.

(Daughuty *et al.*, 1977)



Gambar 2.10. Diagram tegangan geser kritis terhadap ukuran butiran tanah (Chiew, 1997)

Dalam Daughuty *et al.* (1977), diagram Moody digunakan pada kasus perairan terbuka ini (*open channel*) karena aliran yang melewati pada lubang *scouring* dianggap menyerupai aliran yang melewati suatu pipa atau geometri tertutup (kondisi *close channel*).

Iterasi dilakukan agar hasil yang didapat pada persamaan (2.23) sama dengan nilai *critical shear stress*, τ_c, dimana besarnya nilai τ_c diperoleh dari diagram shield pada Gambar 2.10 berdasarkan nilai d_{50}.

BAB III

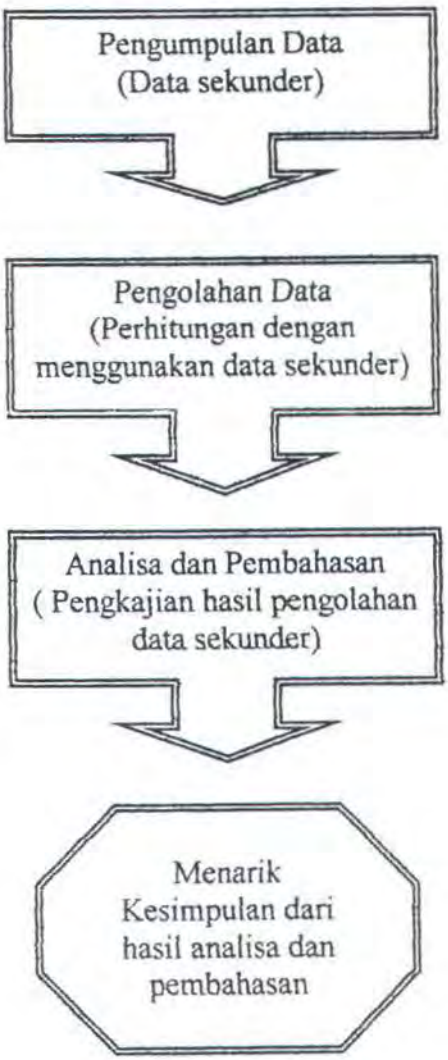
METODOLOGI

BAB III

METODOLOGI

III.1 Umum

Metodologi yang dilakukan pada penulisan tugas akhir ini secara garis besar adalah meliputi:



Gambar 3.1. Diagram Metodologi Penulisan Tugas Akhir.

III.2 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam formulasi menggunakan data sekunder. Posisi astronomis dari data-data yang digunakan mendekati posisi astronomis lokasi analisa yang dilakukan dalam tugas akhir ini. Posisi astronomis lokasi analisa adalah 7° 9′ LS dan 112° 40′ BT (PLTU-Gresik) sampai 7° 9′ LS dan 112° 41′ BT (Tanjungan). Komponen-komponen data yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Data perairan yang meliputi:
   - Kecepatan arus murni atau *undisturbed current velocity* dalam hal ini adalah kecepatan arus akibat pasang surut (pasut). Data kecepatan arus pasut ini berasal dari *Final Report* Pengukuran Kedalaman dan Penyelidikan Masalah Pendangkalan Di Pelabuhan P.T. Petrokimia Gresik tahun 1989. Posisi astronomis dari data ini adalah 7° 8′ LS dan 112° 39′ BT. Data arus tersebut diambil dengan metode tiga titik (*three point method*) pada kedalaman 0.2d, 0.6d, dan 0.8d dari *seabed*. Dari tiap titik tersebut di tentukan besarnya Kecepatan dan arah arus rata-rata dengan persamaan berikut:

$$V_{avg} = (V_{0.2d} + V_{0.6d} + V_{0.8d})/3 \quad \text{.....(3.1)}$$

$$N_{avg} = (N_{0.2d} + N_{0.6d} + N_{0.8d})/3 \quad \text{.....(3.2)}$$

- Tinggi dan Periode Gelombang yang didapat dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Jakarta tahun 1992. Posisi astronomis dari data ini adalah 7° 10′ 49.45″ LS dan 112° 47′ 40.84″ BT.

2. Data tanah dasar laut (*seabed*) yang meliputi:
   - Diameter butiran pada ayakan no.50 yang berasal dari *Final Report* Pengukuran Kedalaman dan Penyelidikan Masalah Pendangkalan Di Pelabuhan P.T. Petrokimia Gresik tahun 1989 dengan posisi astronomis 7° 8′ LS dan 112° 39′ BT.
   - Bathymetri (kontur dasar laut) sepanjang jalur kabel listrik bawah laut antara PLTU-Gresik sampai Tanjungan yang berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) tahun 1996.
3. Data kabel listrik bawah laut:
   - Diameter kabel yang diperoleh dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) .

III.3 Pengolahan Data

Berdasarkan data-data tersebut diatas dilakukan perhitungan-perhitungan yang meliputi:

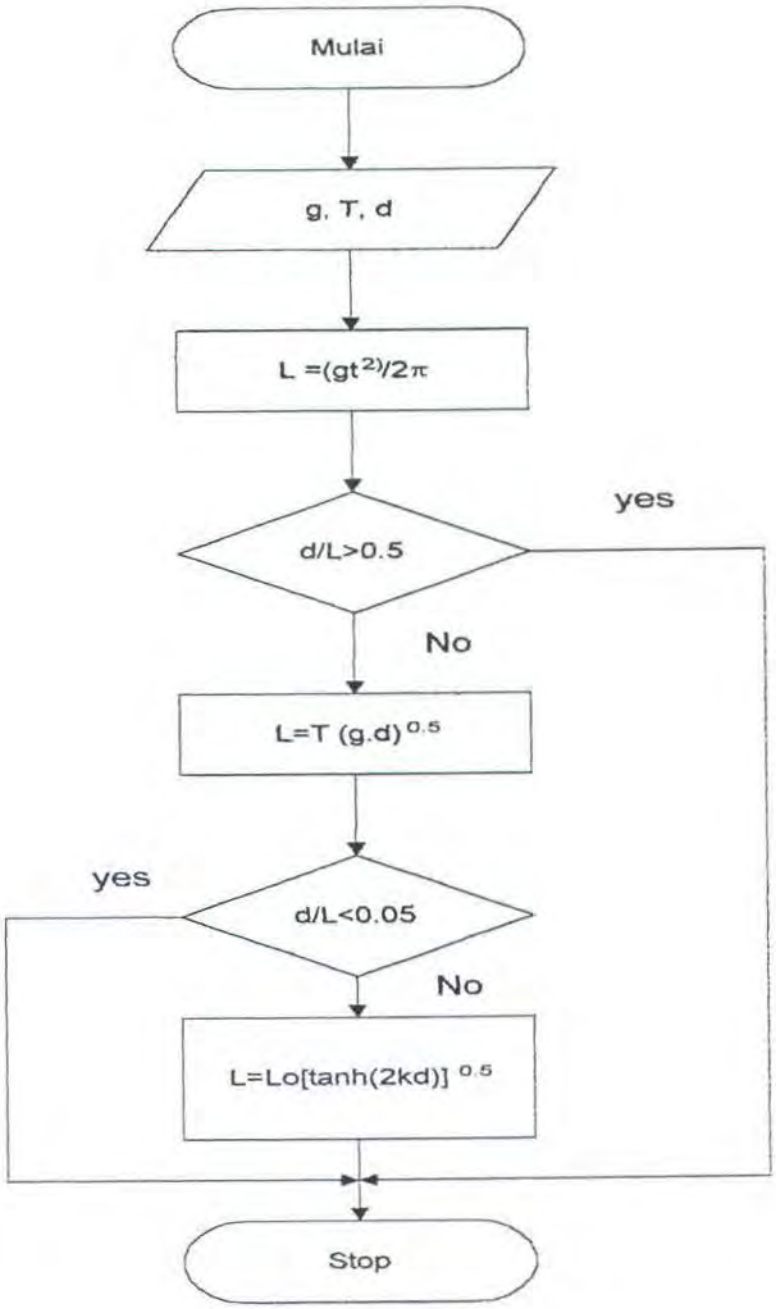
1. Perhitungan kecepatan arus akibat pengaruh gelombang.

Perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar kecepatan arus yang dipengaruhi oleh gelombang berdasarkan data tinggi gelombang, H, dan periode gelombang, T, serta kedalaman, d. Variabel-variabel tersebut digunakan pada *region Validity of wave theory* pada Gambar 2.2 untuk menentukan teori gelombang yang sesuai. Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan panjang gelombang dengan memasukkan data-data gelombang. Langkah-langkah perhitungan panjang gelombang dapat dilihat pada Gambar 3.2. Setelah didapat teori gelombang yang sesuai dan panjang gelombang maka dilakukan perhitungan kecepatan gelombang (*celerity*). Besar kecepatan gelombang yang didapat, dimasukkan ke dalam formulasi perhitungan kecepatan arus akibat pengaruh gelombang. Kecepatan arus yang diperoleh kemudian dibandingkan kuantitasnya dengan data arus akibat pasang surut pada setiap zona untuk menentukan kecepatan arus yang akan digunakan dalam perhitungan kedalaman *scouring*. Diagram alur perhitungan Kecepatan arus akibat gelombang dapat dilihat pada Gambar 3.3.

2. Perhitungan kecepatan arus.

   Kecepatan arus yang digunakan adalah kecepatan arus yang aranya tegak lurus dengan bentangan kabel dimana kabel

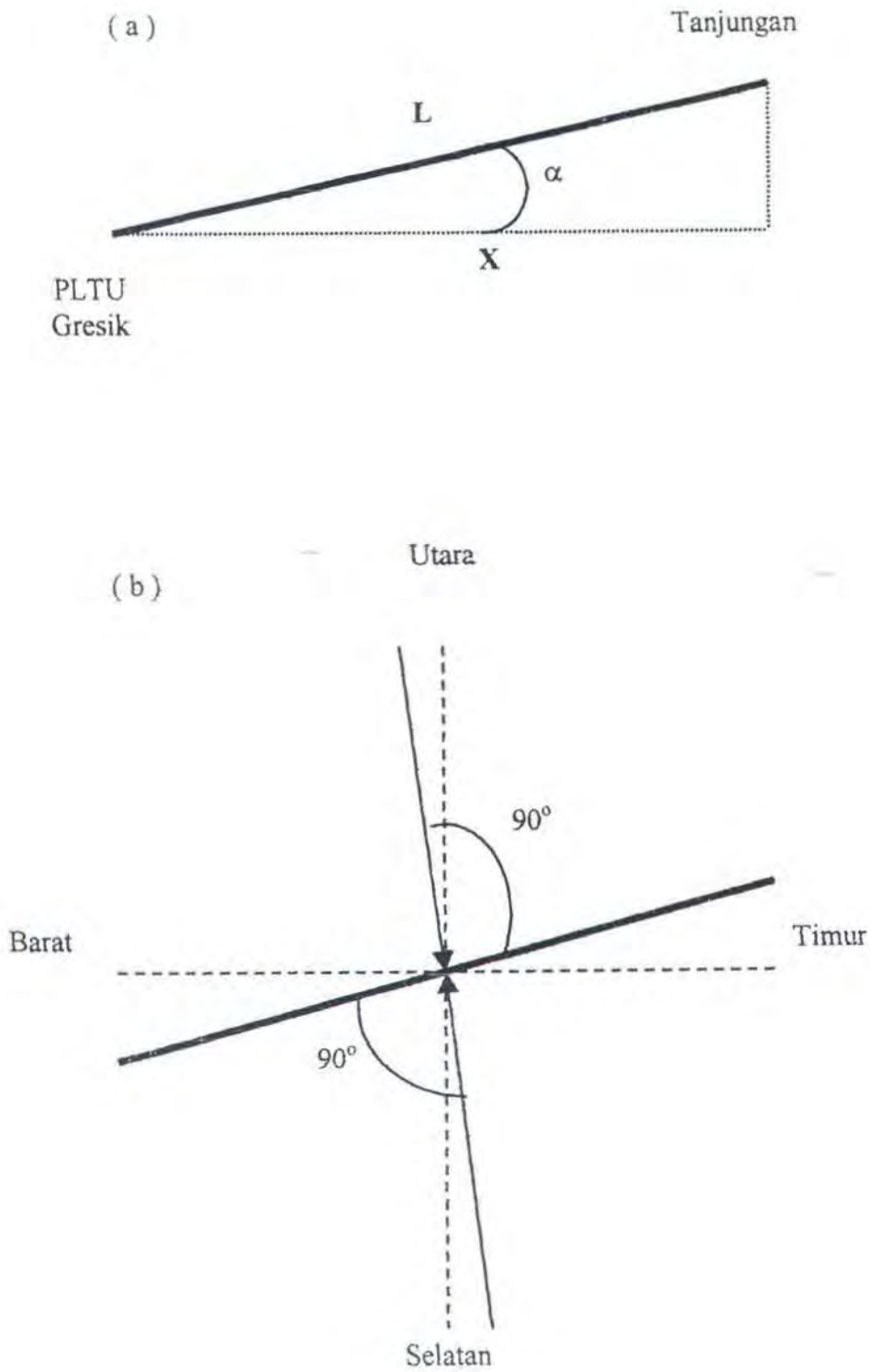
membentuk sudut sebesar α terhadap horizontal. (Gambar 3.4 (a)).



Gambar 3.2. Diagram alir perhitungan panjang gelombang

Tiap-tiap data kecepatan arus pasut dan arahnya diproyeksikan tegak lurus dengan bentangan kabel sehingga dapat diperoleh kecepatan arus maximal (Kecepatan arus yang tegak lurus kabel) seperti pada Gambar 3.4 (b).

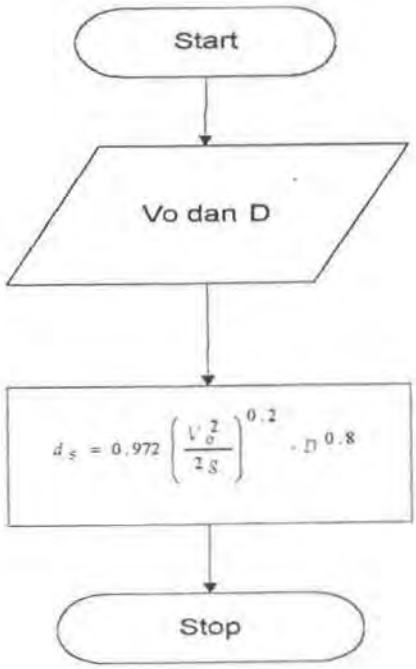
Gambar 3.3. Diagram alir perhitungan kecepatan arus akibat gelombang



Gambar 3.4. Sudut kabel Terhadap Horizontal dan Arus Pasut yang Tegak Lurus Kabel.

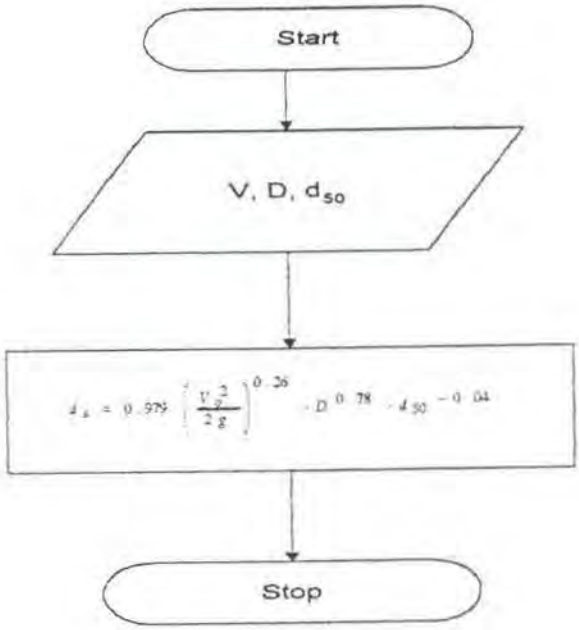
3. Perhitungan kedalaman maximal *scouring* .

Perhitungan ini dilakukan dengan membagi panjang kabel pada perairan menjadi empat zona (Gambar 3.8) berdasarkan perbedaan diameter butiran dan kecepatan arus. Kedalaman *scouring* untuk tiap zone dihitung dengan menggunakan tiga formulasi; *Technical University of Norway, Delft University of Technology,* dan *Nanyang Technological University*. Untuk formulasi yang pertama digunakan data kecepatan arus murni, diameter kabel, dan data bathimetry. Langkah perhitungannya dapat dilihat pada Gambar 3.5.



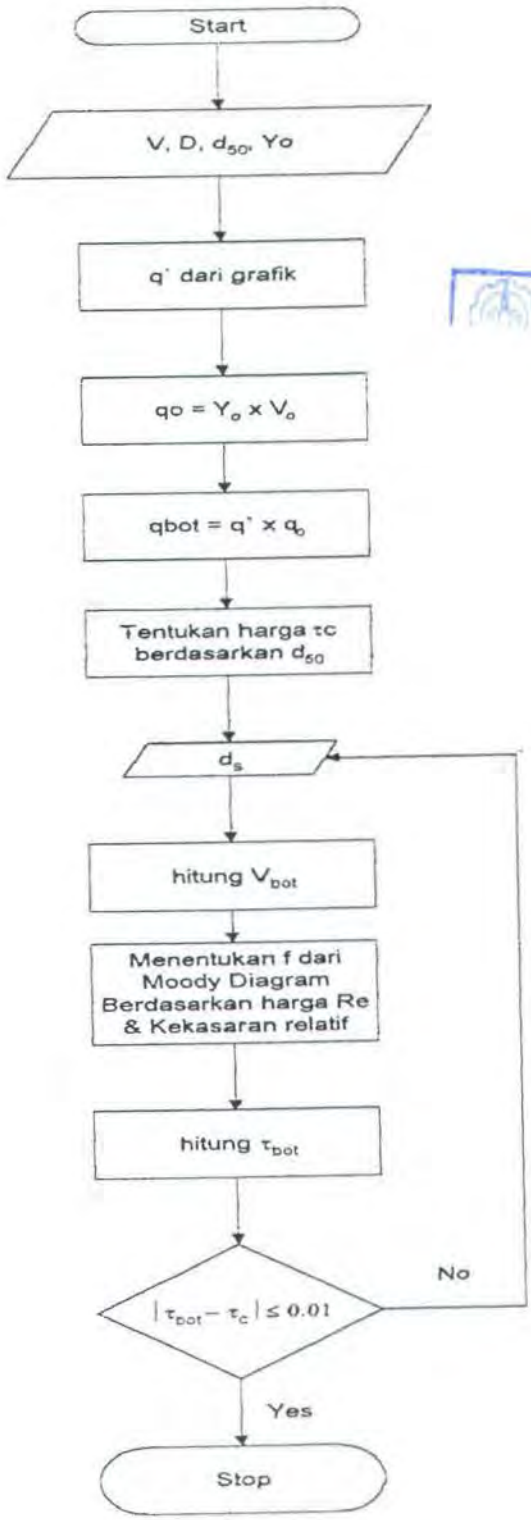
Gambar 3.5. Diagram Alir Perhitungan Kedalaman *Scouring* dengan Formulasi Technical University of Norway.

Formulasi kedua juga menggunakan data-data yang sama dengan data-data pada metode pertama dan ditambah dengan data diameter butiran tanah pada ayakan no.50. Gambar 3.6 memperlihatkan langkah perhitungan dengan formulasi tersebut.



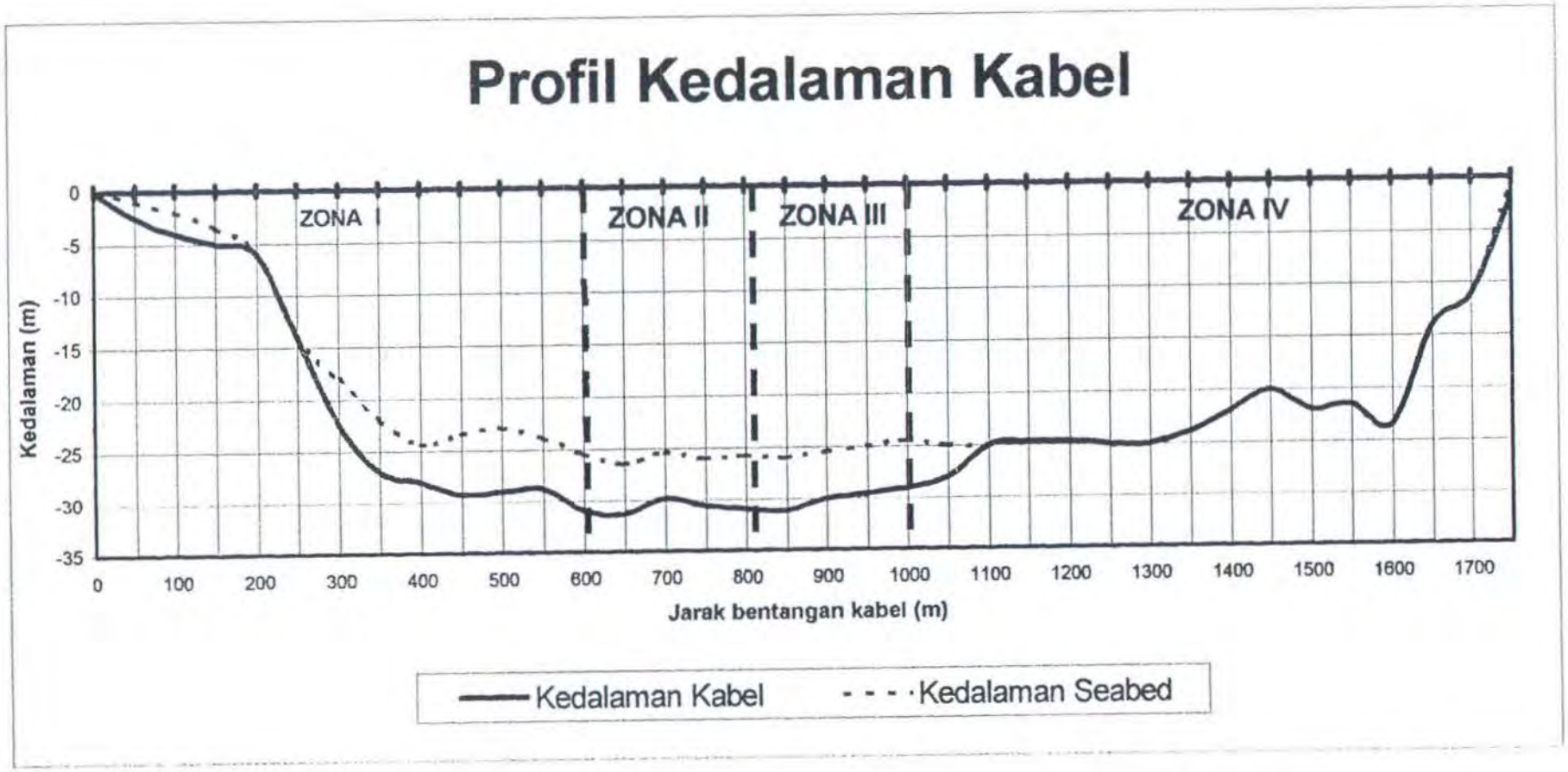
Gambar 3.6. Diagram Alir Perhitungan Kedalaman *Scouring* dengan Formulasi Delft University of Technology.

Formulasi ketiga dilakukan dengan metode perhitungan yang bersifat iteratif dengan menggunakan data-data yang sama dengan formulasi kedua. Selain itu pada formulasi ketiga ini ditentukan besarnya kedalaman arus (*flow depth*) berdasarkan asumsi dan juga estimasi kedalaman maksimal *scouring*.



MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Gambar 3.7. Diagram alir perhitungan kedalaman *scouring* dengan metode Nanyang Technological University



Gambar 3.8. Pembagian Zona berdasarkan Perbedaan Kecepatan Arus dan Diameter Butiran

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Kecepatan Arus Akibat Gelombang

Perhitungan kecepatan arus akibat gelombang (*wave current*) meliputi perhitungan panjang gelombang dan kecepatan gelombang. Untuk mendapatkan nilai panjang gelombang maka dilakukan perhitungan yang iteratif. Berdasarkan data tinggi gelombang maksimal, H, sebesar 0.52 m dan periode pada H maksimal, T, sebesar 4, 18 detik dalam lampiran I.1, dilakukan perhitungan panjang gelombang pada kondisi *deep water* dan juga pada kondisi *shallow water* dengan kedalaman perairan diambil 26,5 m yaitu kedalaman dasar laut yang paling dalam. Tabel 4.1 memperlihatkan hasil perhitungan tersebut.

Tabel 4.1. Perhitungan Panjang Gelombang pada kondisi *deep water* dan *shallow water*.

Kondisi Perairan	Panjang Gelombang	d/L (d = 26,5)	Keterangan
Deep Water	$L = \frac{gT^2}{2\pi} = 269,1047\ m$	0,09847 < 0,5	tdk memenuhi
Shallow Water	$L = T\sqrt{gd} = 67,3959\,m$	0.3932>0,05	Tdk memenuhi

Dari tabel di atas terlihat bahwa kondisi perairan di Selat Madura tidak termasuk dalam kondisi perairan *deep* maupun *shallow water*, sehingga panjang gelombang dihitung dengan formulasi panjang gelombang untuk kondisi *intermediate* melalui perhitungan yang iteratif dimana untuk memulai iterasi, L_{awal} dihitung dengan memasukkan nilai tanh (2*kd*) = 1:

$$L_{awal} = L_0 [\tanh(2kd)]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$= 269{,}105 \text{ m}$$

Dengan memberikan batasan *error* iterasi sebesar 0.4% maka diperoleh panjang gelombang seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Iterasi Untuk Menentukan Panjang Gelombang

L_i	Error	Proses
269,105	-	Kontinyu
20,24	248,8626	Kontinyu
27,2937	7,0516	Kontinyu
27,2935	0,0001	Stop

Kecepatan gelombang dihitung dengan terlebih dahulu menentukan teori gelombang yang berlaku. Dari hasil H/T^2 sebesar

0,0902 ft/det^2 dan d/T^2 sebesar 4.5960 ft/det^2 yang diterapkan dalam *region validity of wave theory*, maka teori gelombang yang berlaku adalah teori gelombang Stokes orde-2. Besarnya kecepatan gelombang adalah:

$$c = \frac{gT}{2\pi} \tanh\ kd$$

$$= \frac{9{,}81 \cdot 4{,}18}{2 \cdot 3{,}14} \tanh(0{,}23 \cdot 26{,}5)$$

$$= 6{,}5296 \text{ m/s}$$

Besarnya kecepatan arus akibat gelombang di permukaan didapat dari perhitungan berikut:

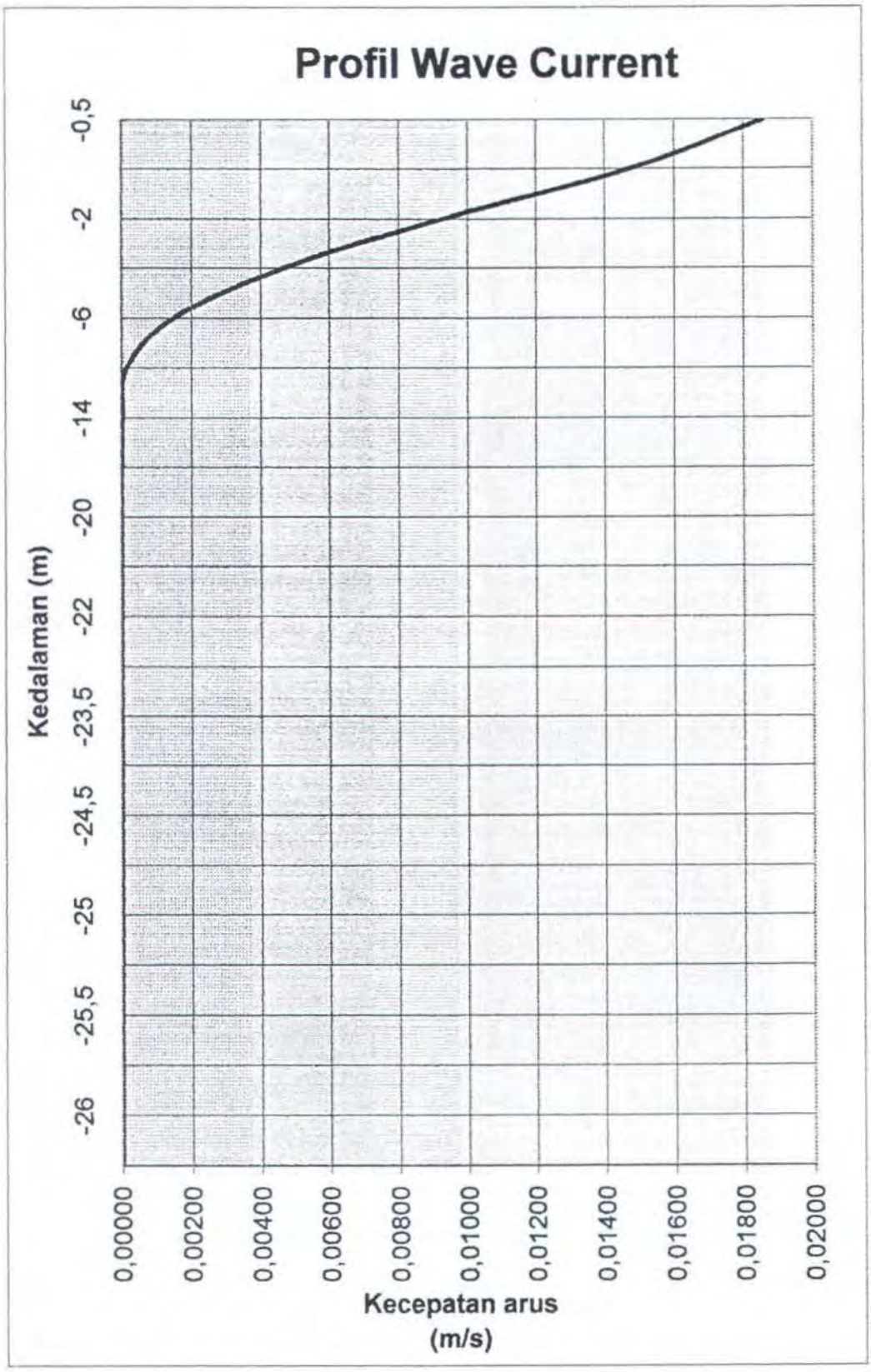
$$U^* = \pi^2 \cdot \delta^2 \cdot c$$

$$= \pi^2 \cdot (\frac{H}{L})^2 \cdot c$$

$$= (3{,}14)^2 \,.\, (0{,}52/27{,}2935)^2 \,.\, 6{,}5296$$

$$= 0{,}02337 \text{ m/s}$$

Untuk mengetahui profil kecepatan arus akibat gelombang pada Gambar 4.1, maka dilakukan perhitungan untuk tiap perubahan kedalaman. Profil kecepatan arus akibat gelombang untuk tiap perubahan kedalaman *seabed* pada interval jarak horizontal 50 m pada kedalaman 0,8d, 0,6d, 0,2d, dan d terdapat dalam lampiran III.1. Hasil perhitungan kecepatan arus akibat gelombang untuk tiap-tiap zona dan kedalaman dapat dilihat pada lampiran II.1.



Gambar 4.1. Profil Kecepatan Arus Akibat Gelombang.

IV.2 Kecepatan Arus Pasang Surut

Dari data kecepatan arus pasut pada lampiran I.2 ditentukan kecepatan maksimal arus pasut yaitu kecepatan arus pasut yang membentuk sudut 90^0 terhadap kabel. Untuk itu perlu diketahui besarnya sudut antara kabel dengan garis yang sejajar dengan garis lintang seperti pada Gambar 4.2. Maka besarnya sudut α adalah:

$$\alpha = \text{arcos}\,(R/X)$$

$$= \text{arcos}\,(1800/1575)$$

$$= 28{,}96^0$$

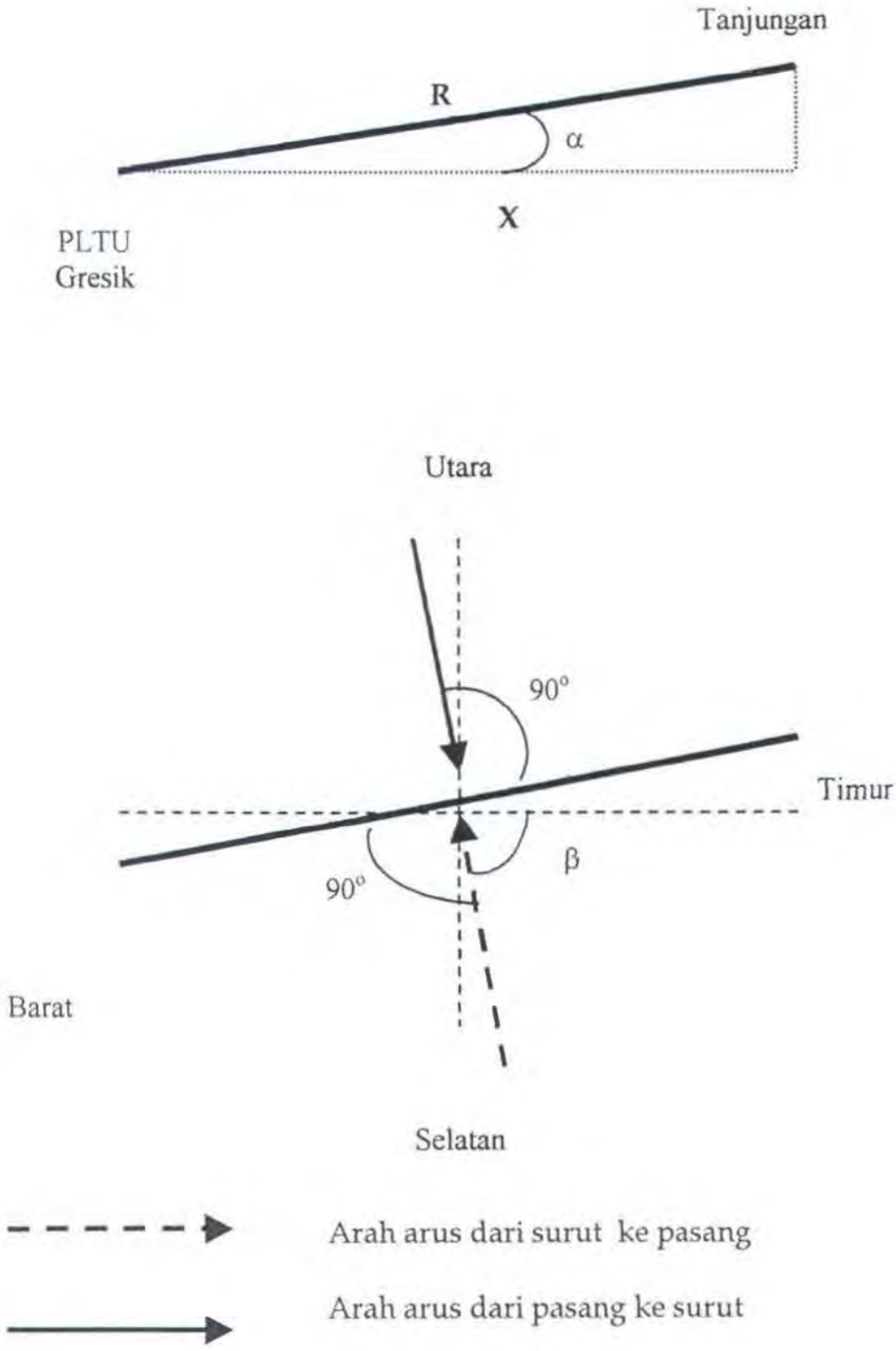
Variabel R merupakan panjang kabel yang terbentang pada alur pelayaran barat Selat Madura dan X merupakan jarak yang sejajar dengan garis lintang yang tegak lurus dengan garis yang sejajar dengan garis bujur yang melewati akhir dari panjang kabel di alur pelayaran tersebut.

Sudut β merupakan besar sudut arus yang tegak lurus kabel dengan garis yang sejajar dengan garis lintang. Besar sudut β dapat dihitung dari:

$$\beta = 90^0 - \alpha$$

$$= 90^0 - 28{,}96^0$$

$$= 61{,}04^0$$



Gambar 4.2. Penentuan Arah Kecepatan Maksimal Arus Pasut

Terhadap Kabel Listrik

Tabel 4. 3. Kecepatan Arus Pasut Maksimal Untuk Tiap Zona.

Zona	Kecepatan Arus Rata-rata (V_{avg})	Kecepatan Maximum	Arah Rata-rata	Keterangan
I	0,699	0,698	327,333	Arus bergerak dari pasang ke surut
II	0,827	0,779	170,667	Arus bergerak dari surut ke pasang
III	0,717	0,714	336,667	Arus bergerak dari pasang ke surut
IV	1,493	1,466	320,000	Arus bergerak dari pasang ke surut

Jadi arus yang tegak lurus kabel dari surut ke pasang dan dari pasang ke surut akan mempunyai arah mata angin sebesar $151{,}04^0$ dan $331{,}04^0$. Kecepatan maksimal arus pasut pada tabel 4.3 diperoleh dari perhitungan:

1. Arah arus maksimal dari surut ke pasang ($61{,}04^0 < \theta < 241{,}04^0$)

   $V_{max} = V_{avg} .\cos (151{,}04^0 - \theta^0)$ arah arus $< 151{,}04^0$

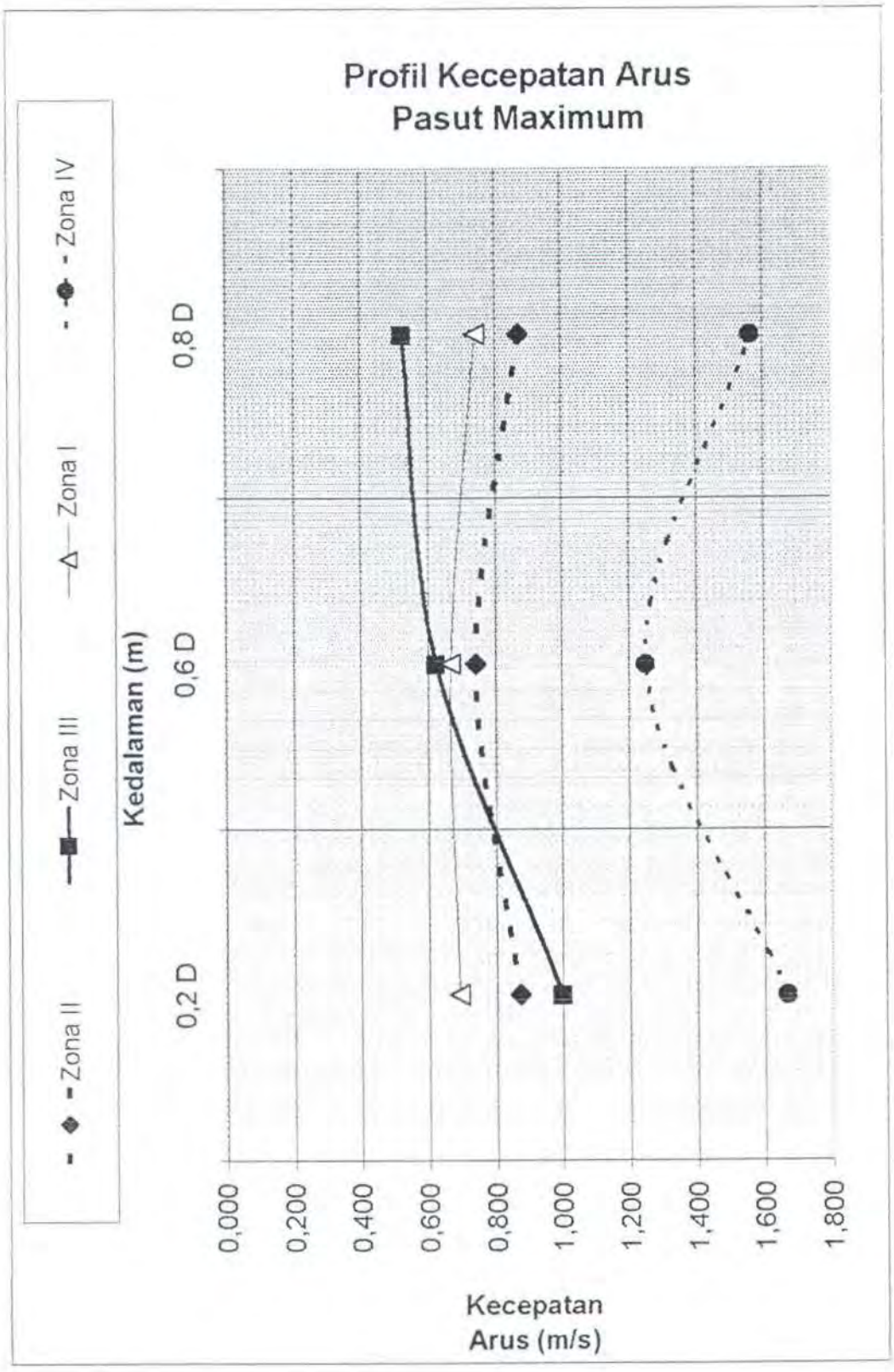
   $V_{max} = V_{avg} .\cos (\theta^0 - 151{,}04^0)$ arah arus $> 151{,}04^0$

2. Arah arus maksimal dari pasang ke surut ($241{,}04^0 < \theta < 421{,}04^0$)

   $V_{max} = V .\cos (331{,}04^0 - \theta^0)$ arah arus $< 331{,}04^0$

   $V_{max} = V .\cos (\theta^0 - 331{,}04^0)$ arah arus $> 331{,}04^0$

Harga kecepatan maksimal arus pasut pada tabel 4.3 diperoleh dari perhitungan pada lampiran II.2 berdasarkan data kecepatan arus pasut pada lampiran I.2. Profil kecepatan maksimal arus pasut untuk setiap zona adalah seperti pada Gambar 4.3



Gambar 4.3. Profil Kecepatan Maksimal Arus Pasut Pada Setiap Zona.

ITS

IV.3 Kedalaman Maksimal *Scouring*

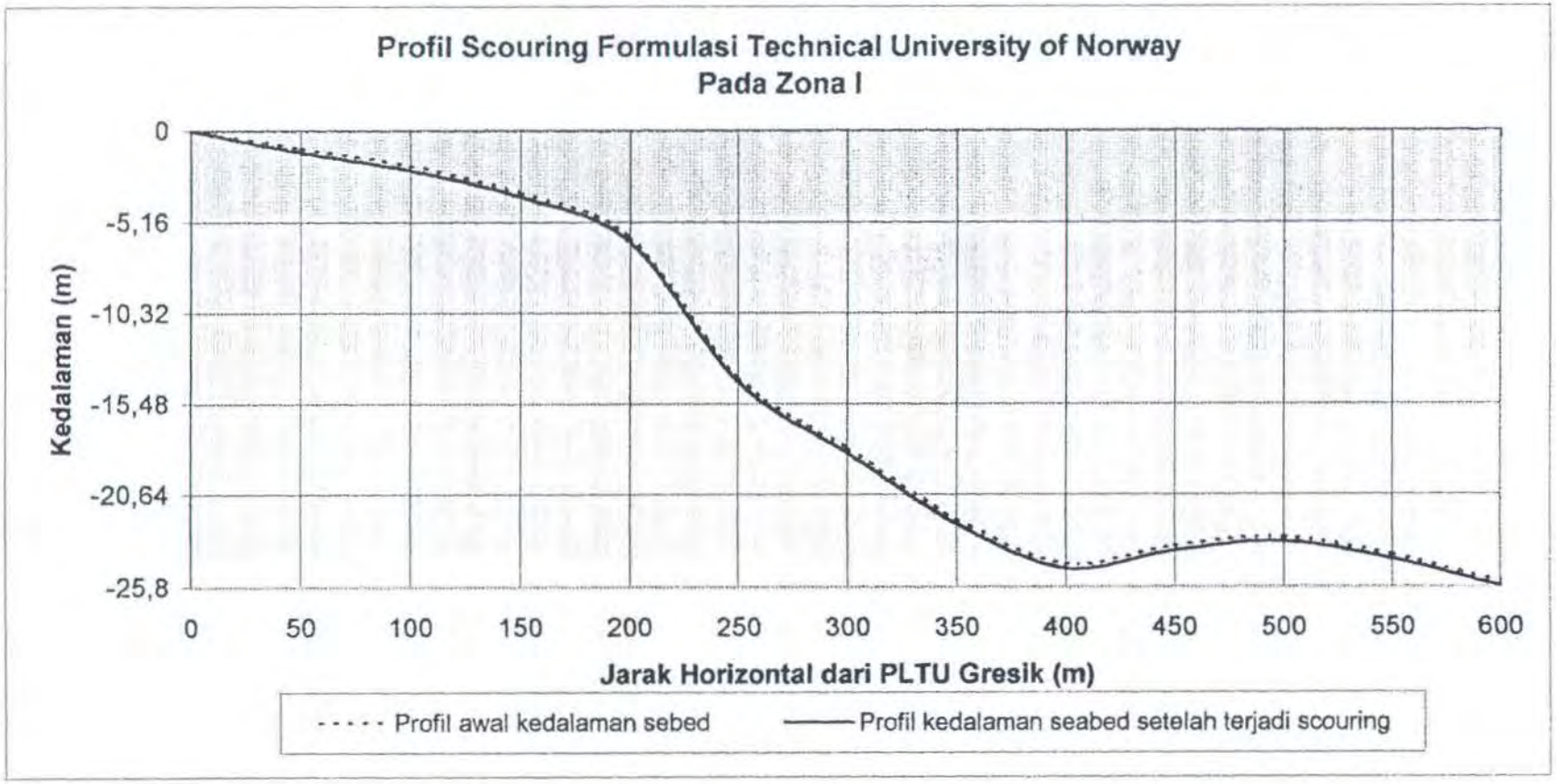
IV.3.1 Technical University of Norway

Hasil perhitungan kedalaman maksimal *scouring* dengan menggunakan formulasi dari Technical University of Norway dapat dilihat dari tabel 4.4 berikut:

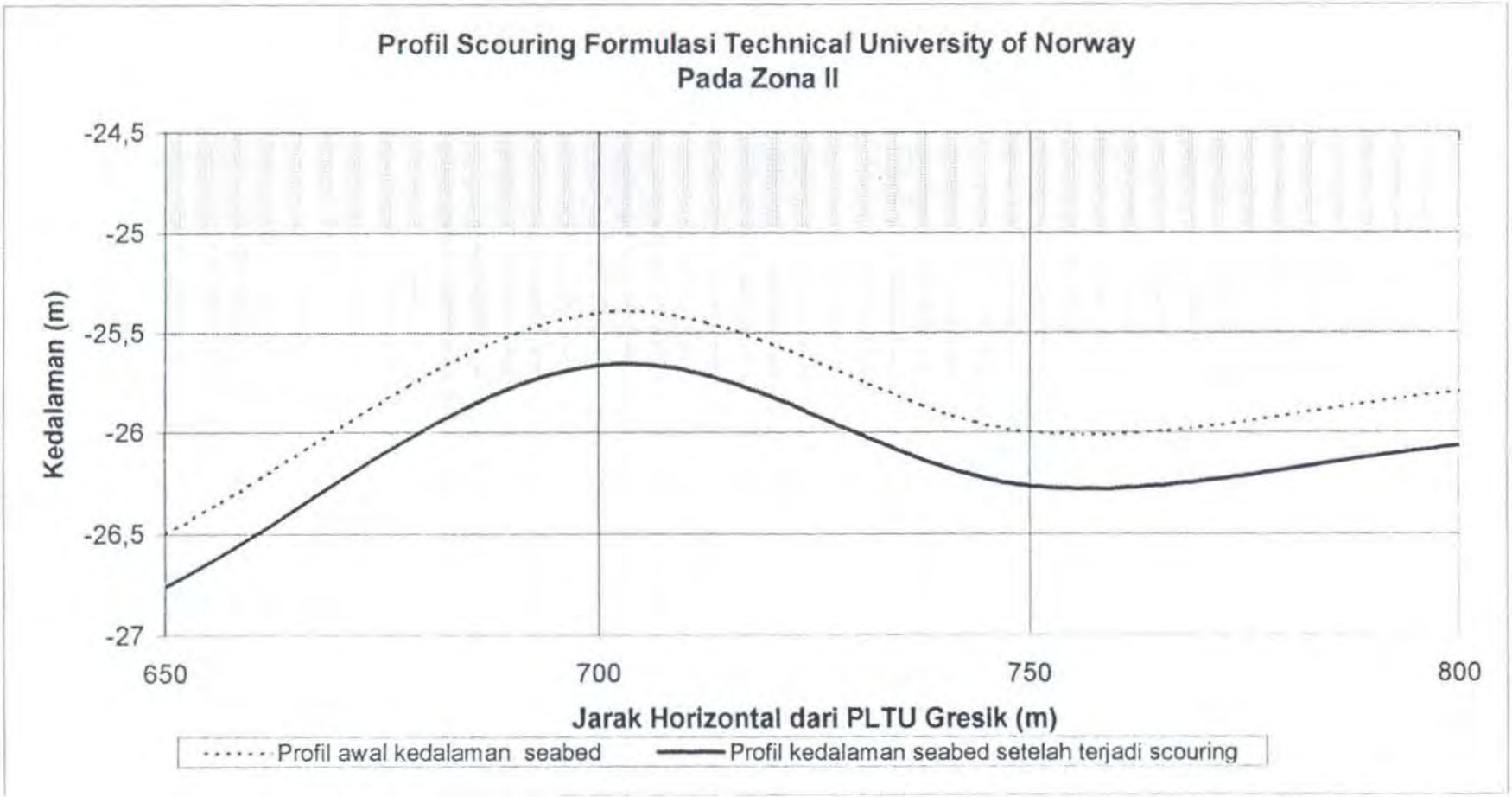
Tabel 4.4 Perhitungan Kedalaman maksimal *scouring* dengan formulasi Technical University of Norway.

Zone	Interval (m)	Kecepatan Arus (m/s)	d_s (m)	Arah Arus Pasut(derajat)
I	0 - 600	0,698	0,254	327,333
II	650 - 800	0,779	0,265	170,667
III	850 - 1000	0,714	0,256	336,667
IV	1050 - 1750	1,466	0,341	320,000

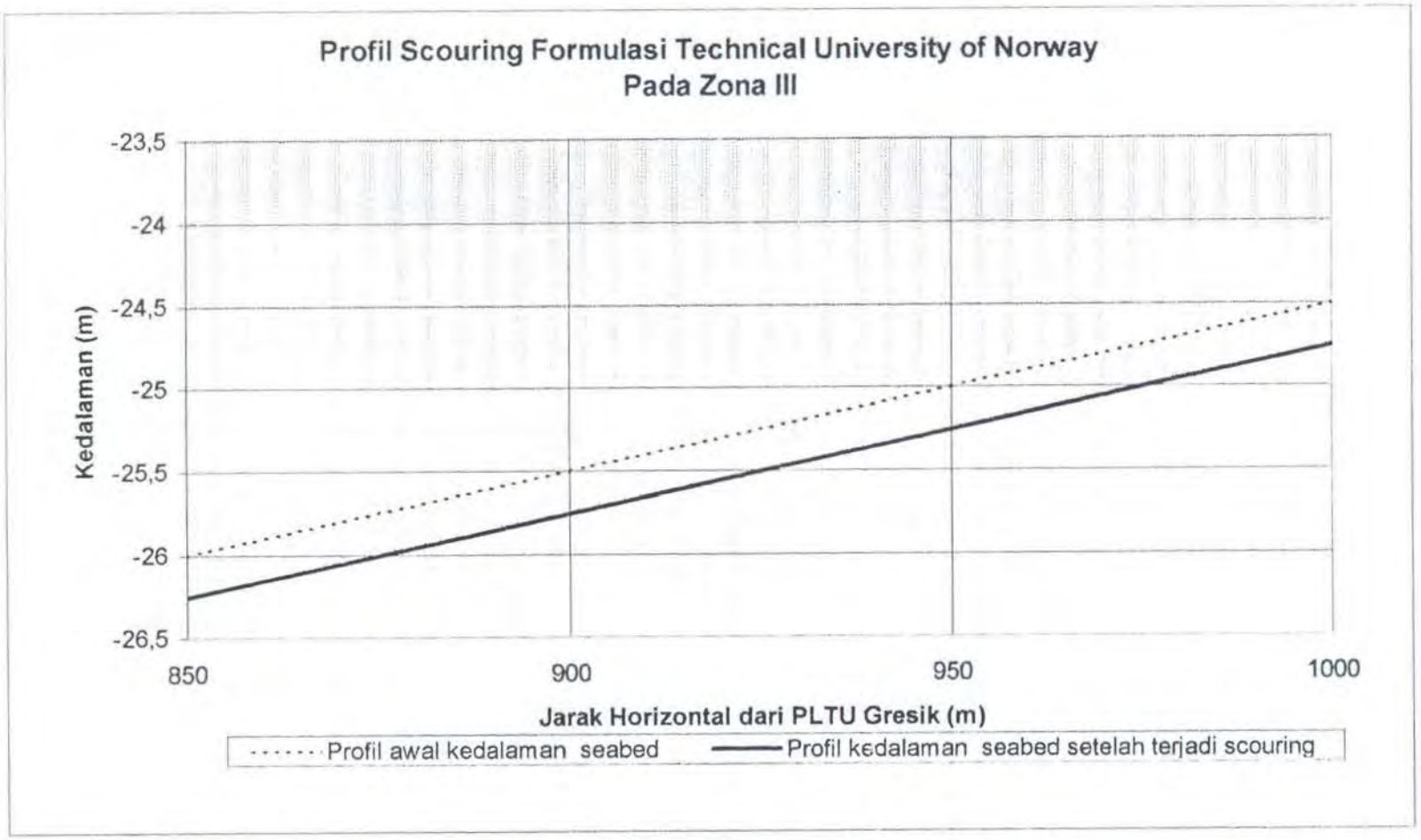
Sesuai dengan hasil yang didapat pada tabel 4.4 perubahan kedalaman akibat *scouring* untuk tiap-tiap zona dapat dilihat dalam lampiran II.3. Profil kedalaman maksimal *scouring* untuk masing-masing zona pada dengan formulasi ini dapat dilihat pada Gambar IV .4 (a), (b), (c), dan (d).



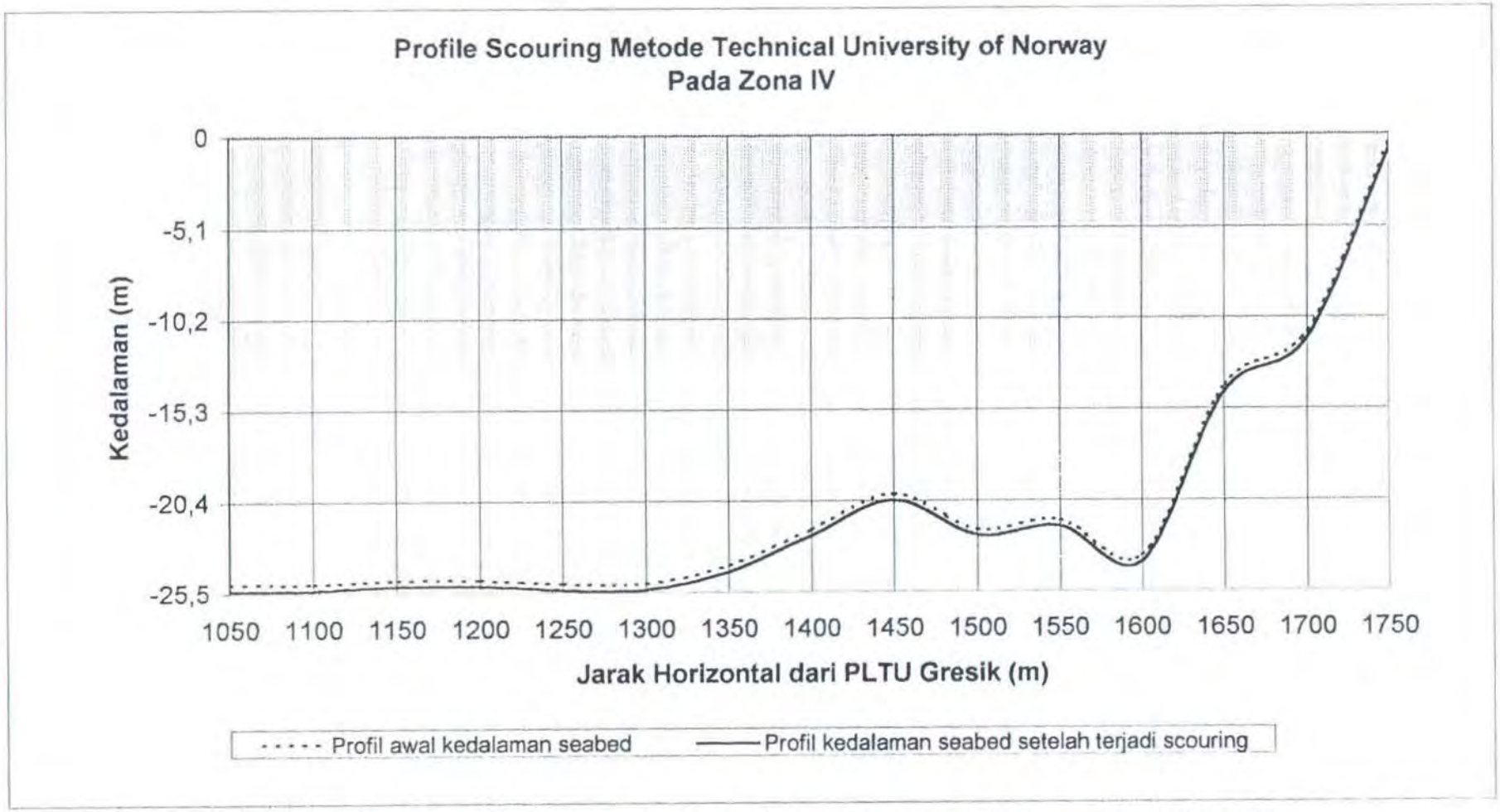
Gambar 4.4 (a). Profil Scouring formulasi technical University of Norway Pada Zona I



Gambar 4.4 (b). Profil Scouring formulasi technical University of Norway Pada Zona II



Gambar 4.4 (c). Profil Scouring formulasi technical University of Norway Pada Zona III



Gambar 4.4 (d). Profil Scouring formulasi technical University of Norway Pada Zona IV

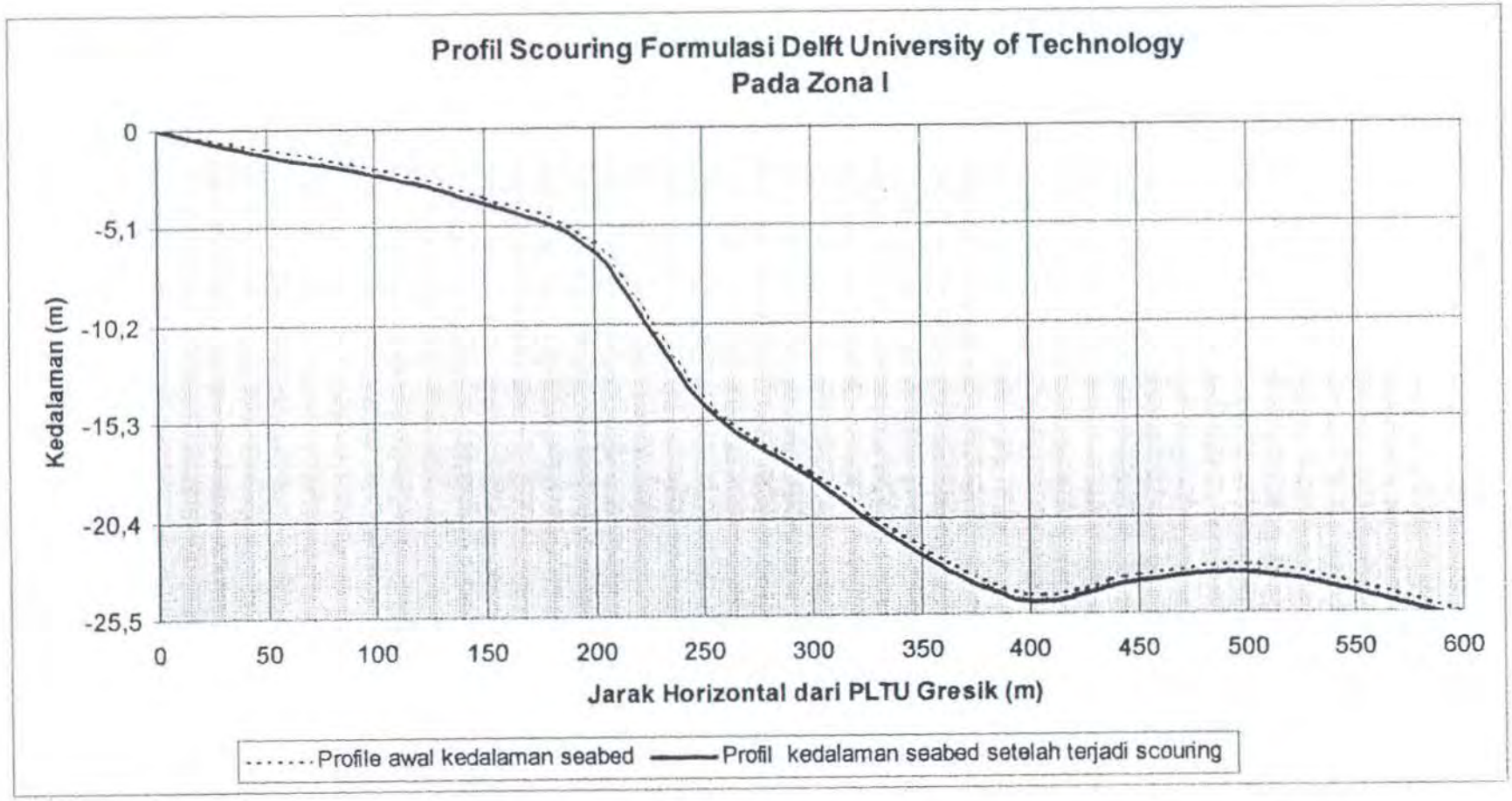
IV.3.2. Delft University of Technology

Berbeda dengan formulasi Technical University of Norway maka pada formulasi ini perhitungan kedalaman maksimal *scouring* juga mempertimbangkan diameter butiran tanah pada nomor ayakan 50 sebagai faktor yang berpengaruh dalam perhitungan kedalaman *scouring*. Hasil perhitungan dengan formulasi ini dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut:

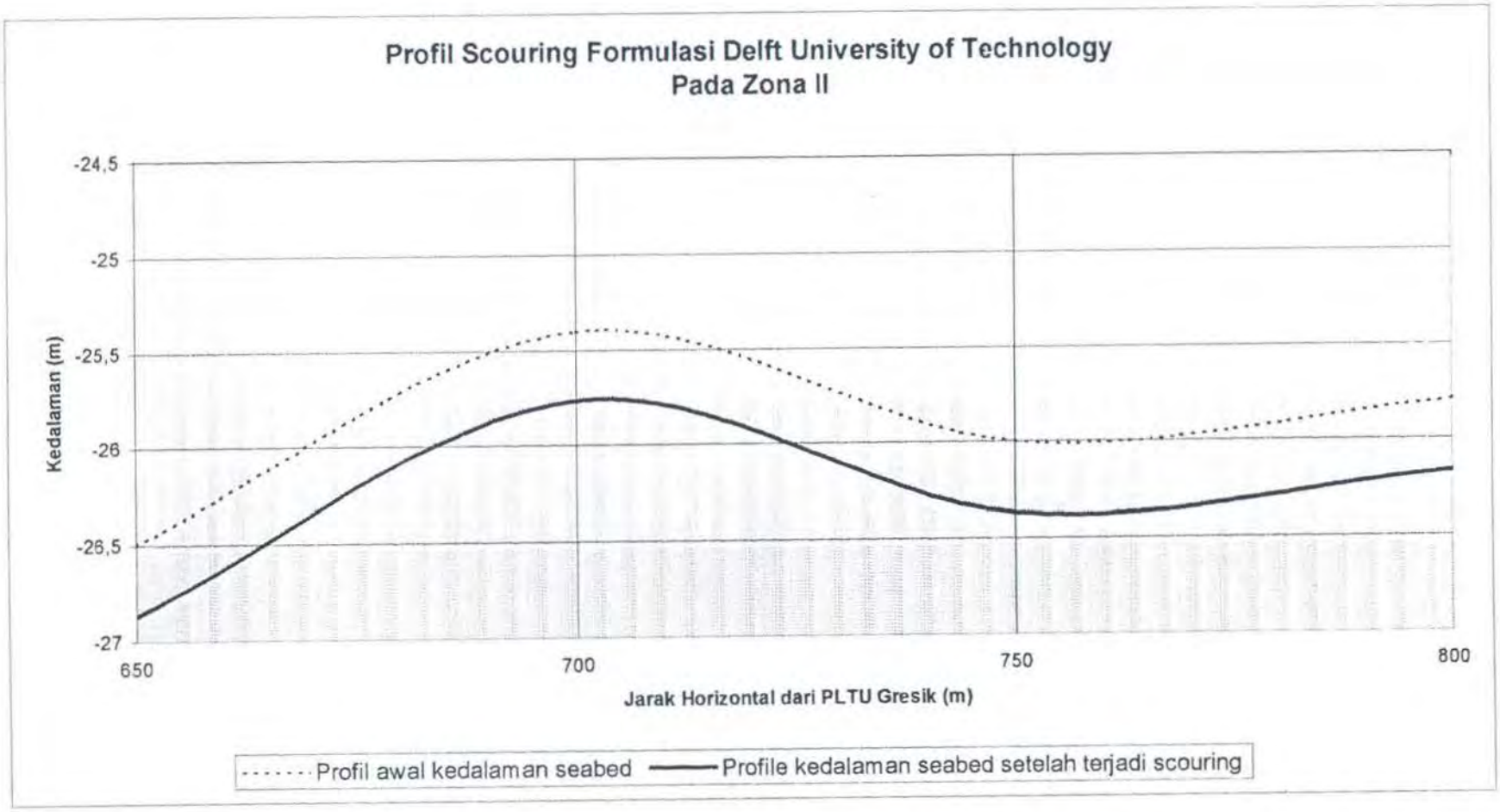
Tabel 4.5. Perhitungan Kedalaman Maksimal *Scouring* dengan Formulasi Delft University of Technology.

Zone	Interval (m)	Kecepatan Arus (m/s)	D_{50} (m)	d_s (m)	Arah arus (derajat)
1	0 - 600	0,698	0,000221	0,391	327,333
2	650 - 800	0,779	0,003500	0,371	170,667
3	850 - 1000	0,714	0,000133	0,404	336,667
4	1050 - 1750	1,466	0,000124	0,589	320,000

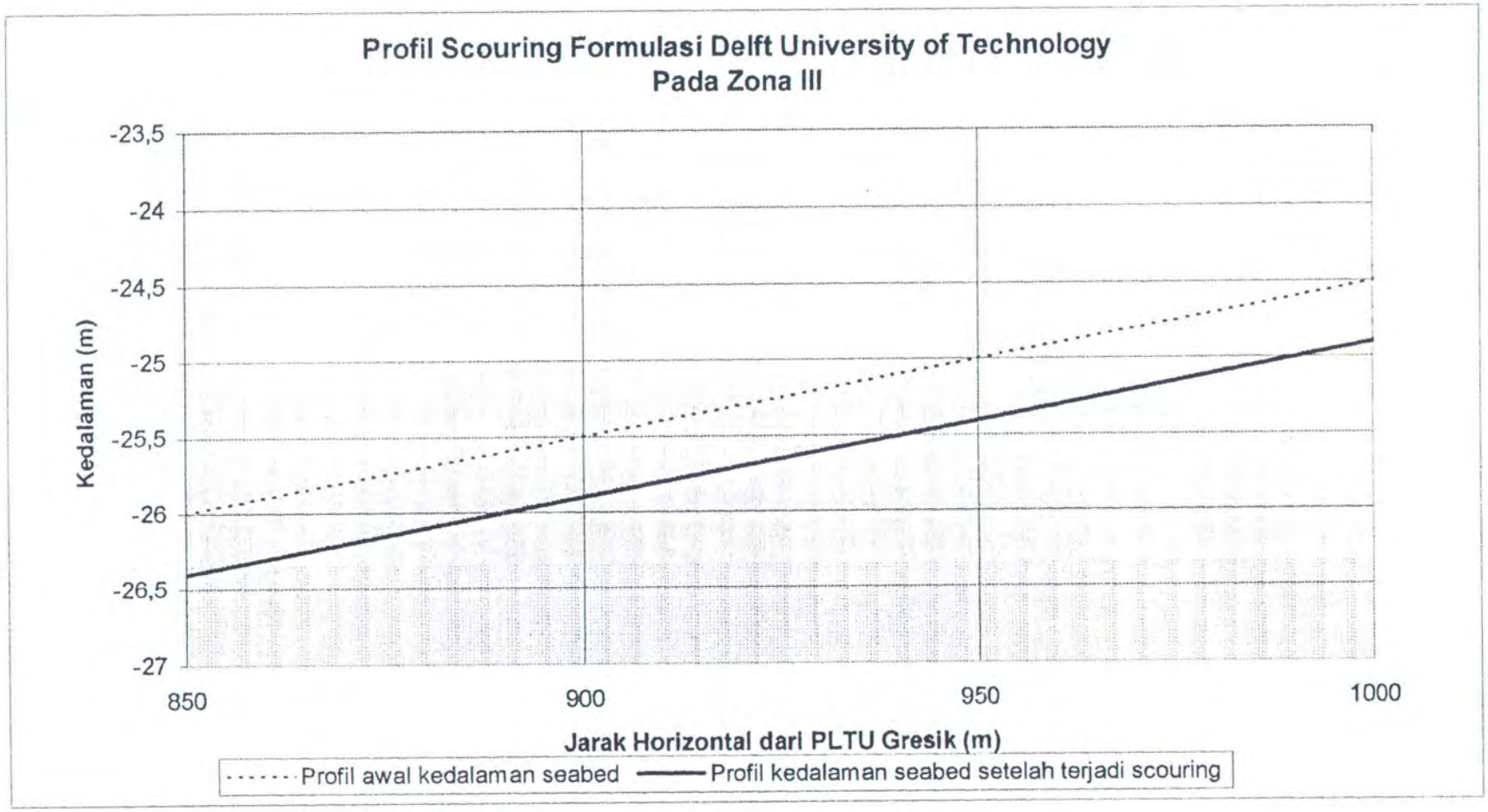
Sesuai dengan hasil yang didapat pada tabel 4.5 di atas perubahan kedalaman *seabed* akibat *scouring* untuk tiap-tiap zona dapat dilihat dalam lampiran II.4. Profil kedalaman maksimal *scouring* untuk masing-masing zona pada dengan formulasi ini dapat dilihat pada Gambar IV .5 (a), (b), (c), dan (d).



Gambar 4.5.(a). Profil Scouring Formulasi Delft University of Technology Pada Zona I

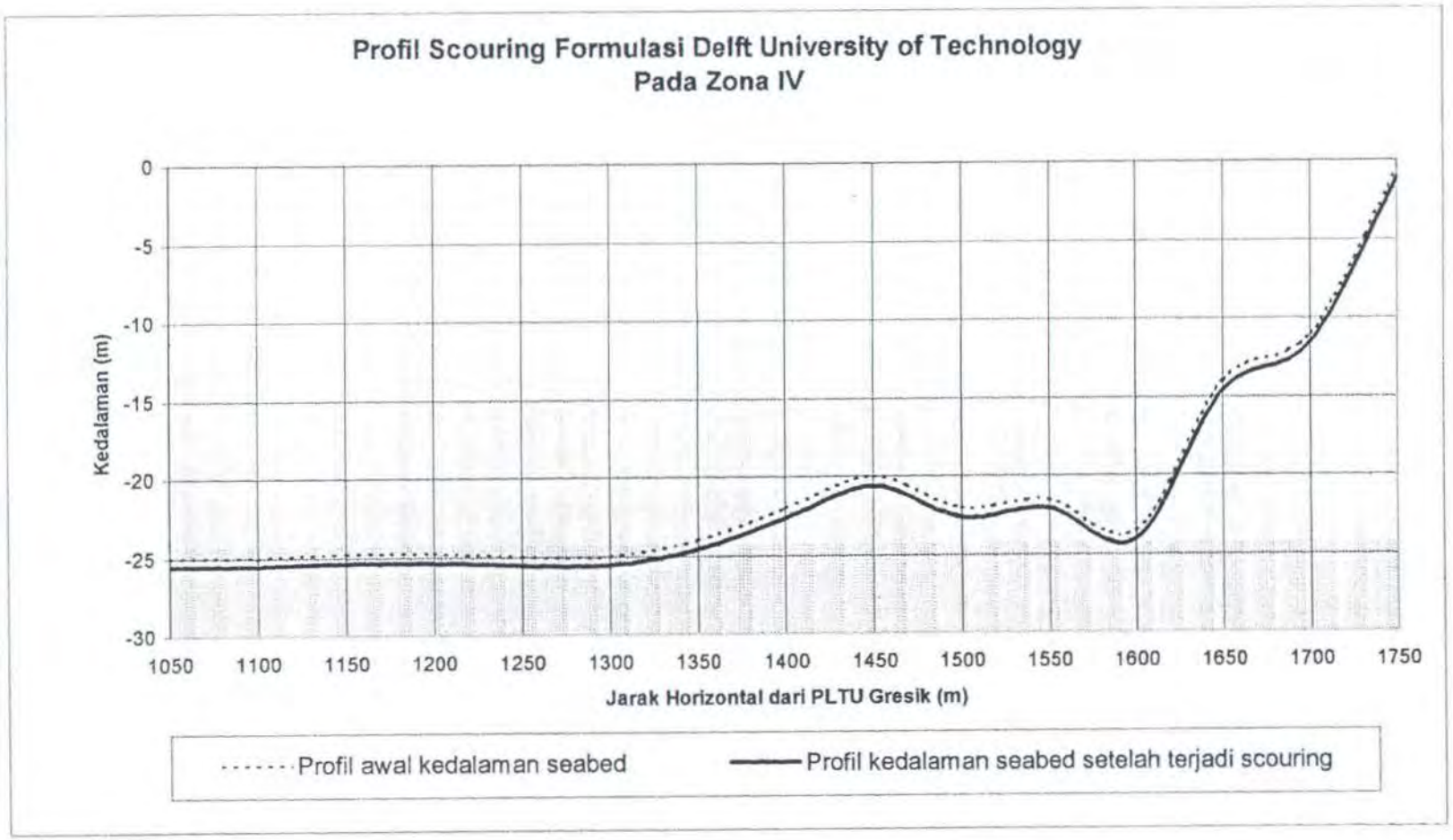


Gambar 4.5.(b). Profil Scouring Formulasi Delft University of Technology Pada Zona II



Gambar 4.5.(c). Profil Scouring Formulasi Delft University of Technology Pada Zona III

MILIK PERPUSTAKAAN ITS



Gambar 4.5.(d). Profil Scouring Formulasi Delft University of Technology Pada Zona IV

IV.3.3 Nanyang Technological University

Perhitungan dengan formulasi ini dilakukan dengan dua nilai *undisturbed flow depth,* Yo, yaitu 0,6 m dan 1 m. Nilai Yo = 0,6 m ditentukan berdasarkan pada acuan dalam Chiew (1997) dengan nilai perbandingan Yo/D = 4, sedangkan untuk Yo = 1 m diambil berdasarkan acuan dalam Mousselli (1981). Hasil perhitungan kedalaman maksimal *scouring* dengan metode yang bersifat iterarif ini dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6. Perhitungan Kedalaman Maksimal *Scouring* dengan Formulasi Nanyang Tecnological University

Yo = 0,6 m

Zone	Interval (m)	Kecepatan Arus (m/s)	D_{50} (m)	d_s (m)	Arah arus (derajat)
1	0 - 600	0,698	0,000221	0,4766	327,333
2	650 - 800	0,779	0,003500	0,2360	170,667
3	850 - 1000	0,714	0,000133	0,5050	336,667
4	1050 - 1750	1,466	0,000124	1,0490	320,000

Yo = 1 m

Zone	Interval (m)	Kecepatan Arus (m/s)	D_{50} (m)	d_s (m)	Arah arus (derajat)
1	0 - 600	0,698	0,000221	0,6160	327,333
2	650 - 800	0,779	0,003500	0,3015	170,667
3	850 - 1000	0,714	0,000133	0,6980	336,667
4	1050 - 1750	1,466	0,000124	1,3777	320,000

Kuantitas dari hubungan-hubungan antara yo, q', qo, q_{bot}, d_{est}, V_{bot}, Re, dan f disajikan dalam tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hubungan Antara Yo dengan Variabel-Variabel dalam Formulasi Nanyang Technological University

Zona I

yo (m)	q' (m^2/det)	qo (m^2/det)	qbot (m^2/det)	dest (m)	Vbot (m/s)	Re	f
0,60	0,29	0,4134	0,11989	0,47655	0,251571	1,41E+05	0,01850
1,00	0,23	0,689	0,15847	0,61600	0,257256	1,86E+05	0,01780

Zona II

yo (m)	q' (m^2/det)	qo (m^2/det)	qbot (m^2/det)	dest (m)	Vbot (m/s)	Re	f
0,60	0,29	0,4674	0,13555	0,23599	0,574372	1,59E+05	0,0438
1,00	0,23	0,779	0,17917	0,30150	0,594262	2,11E+05	0,0409

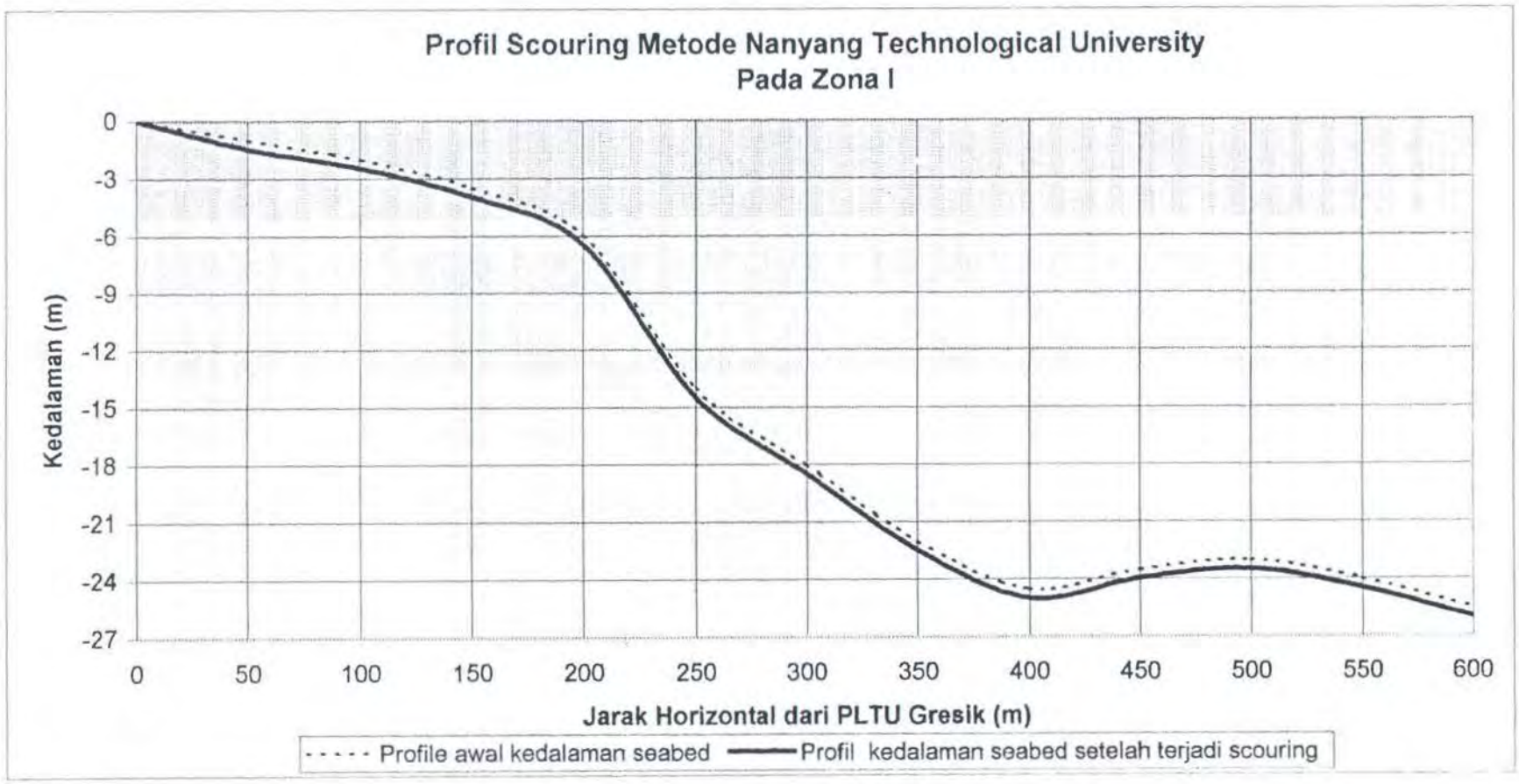
Zona III

yo (m)	q' (m^2/det)	qo (m^2/det)	qbot (m^2/det)	dest (m)	Vbot (m/s)	Re	f
0,60	0,29	0,4284	0,12424	0,54100	0,229641	1,46E+05	0,01790
1,00	0,23	0,714	0,16422	0,69800	0,235272	1,93E+05	0,01700

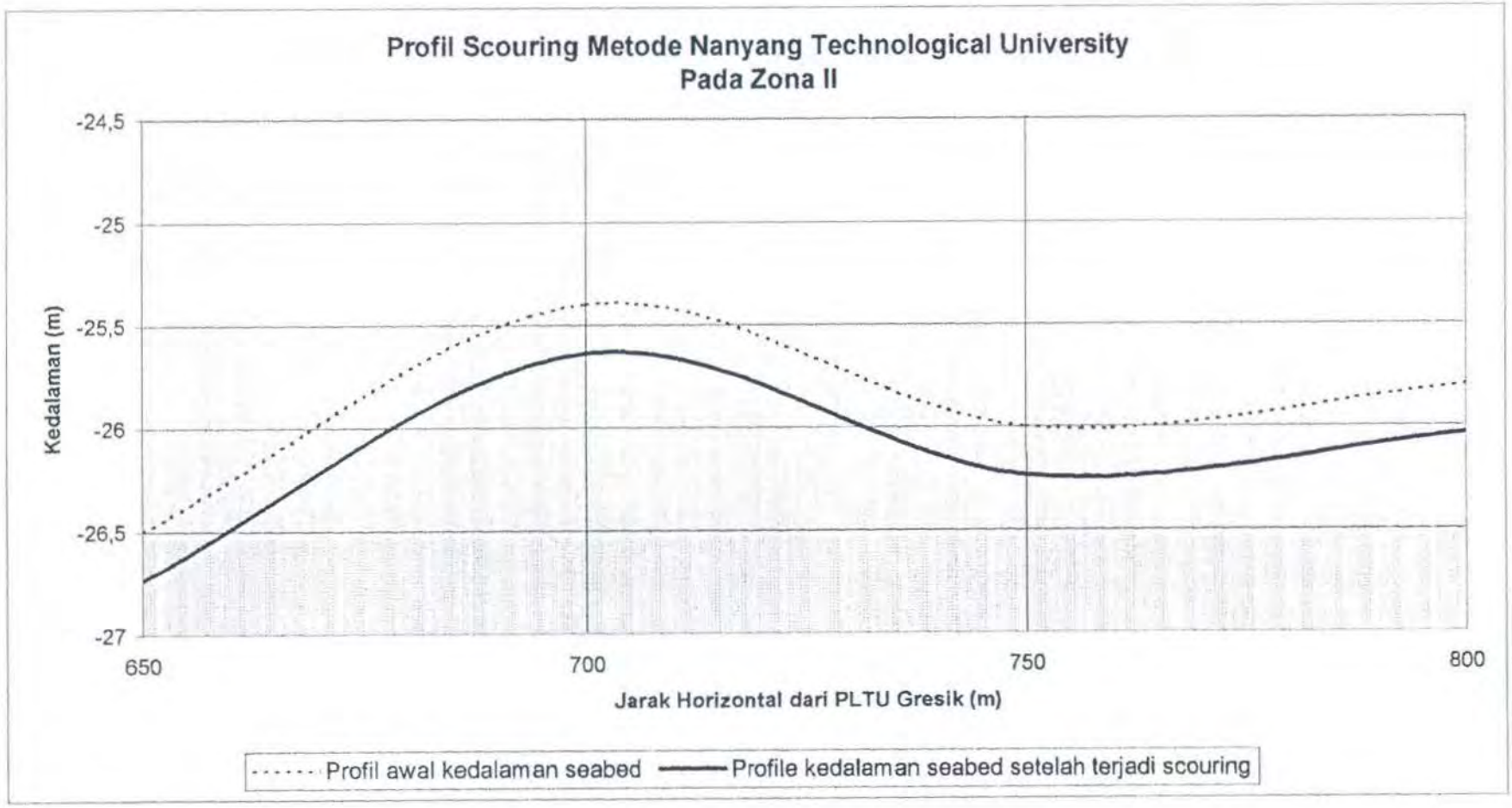
Zona IV

yo (m)	q' (m^2/det)	qo (m^2/det)	qbot (m^2/det)	dest (m)	Vbot (m/s)	Re	f
0,60	0,29	0,879	0,25503	1,06620	0,2391925	3,00E+05	0,01570
1,00	0,23	1,465	0,33710	1,37770	0,2446866	3,97E+05	0,01500

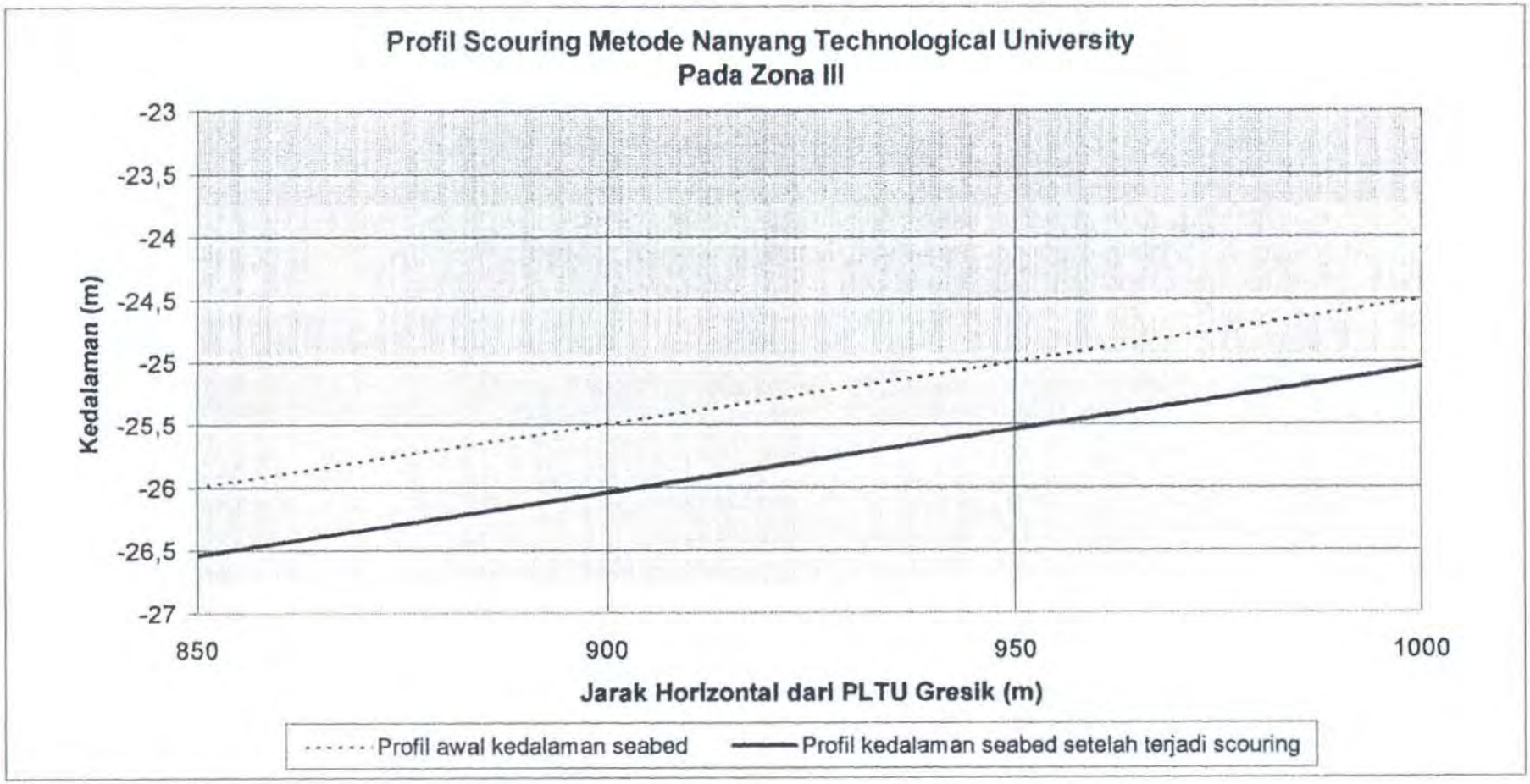
Profil kedalaman *scouring* untuk metode Nanyang Technological University untuk Yo = 0,6 m dapat dilihat pada Gambar 4.6 (a), (b), (c), dan (d) dan Yo = 1 m dapat dilihat pada Gambar 4.7 (a), (b), (c), dan (d) di bawah ini.



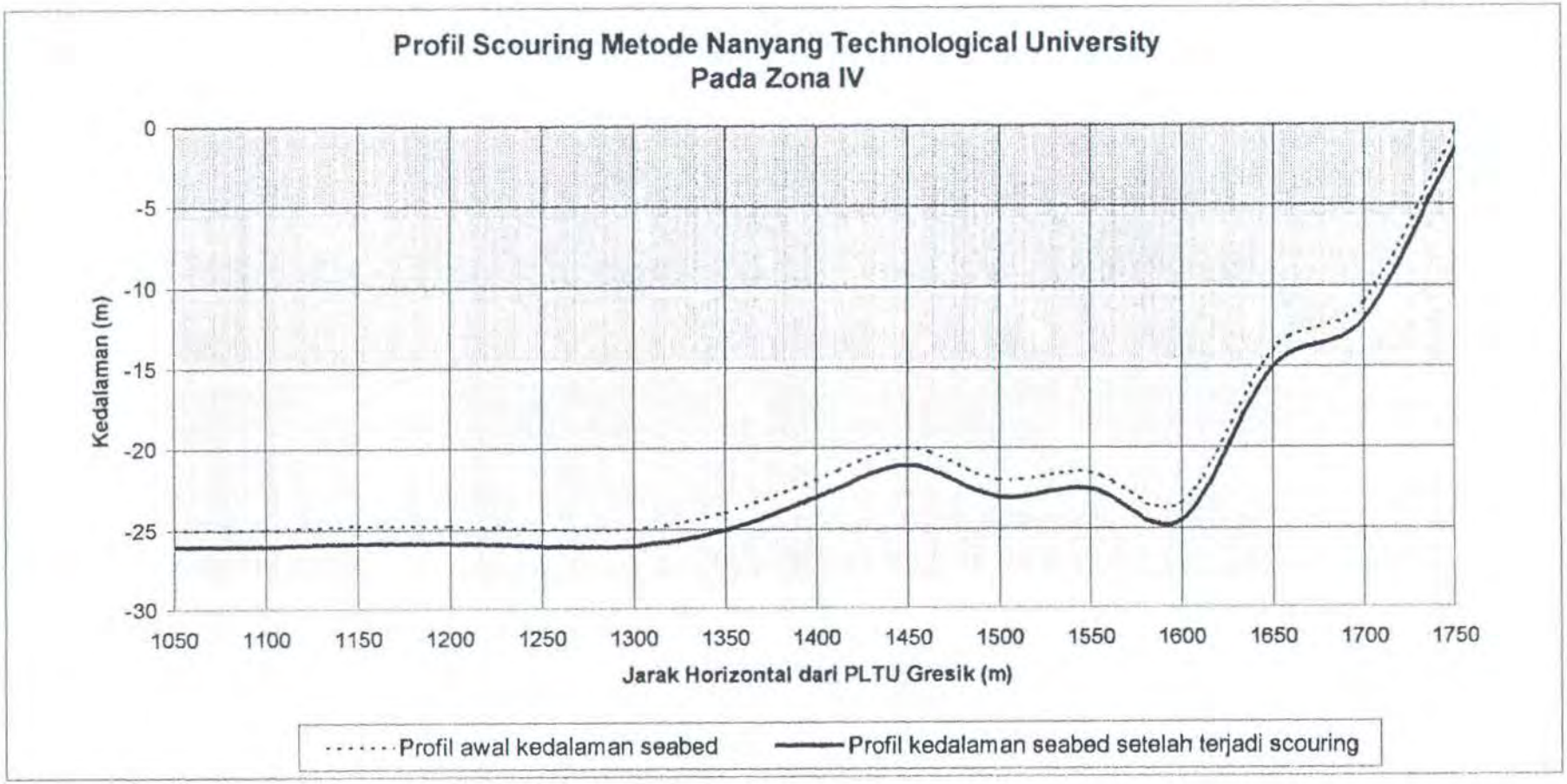
Gambar 4.6 (a). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona I dan Yo = 0,6 m



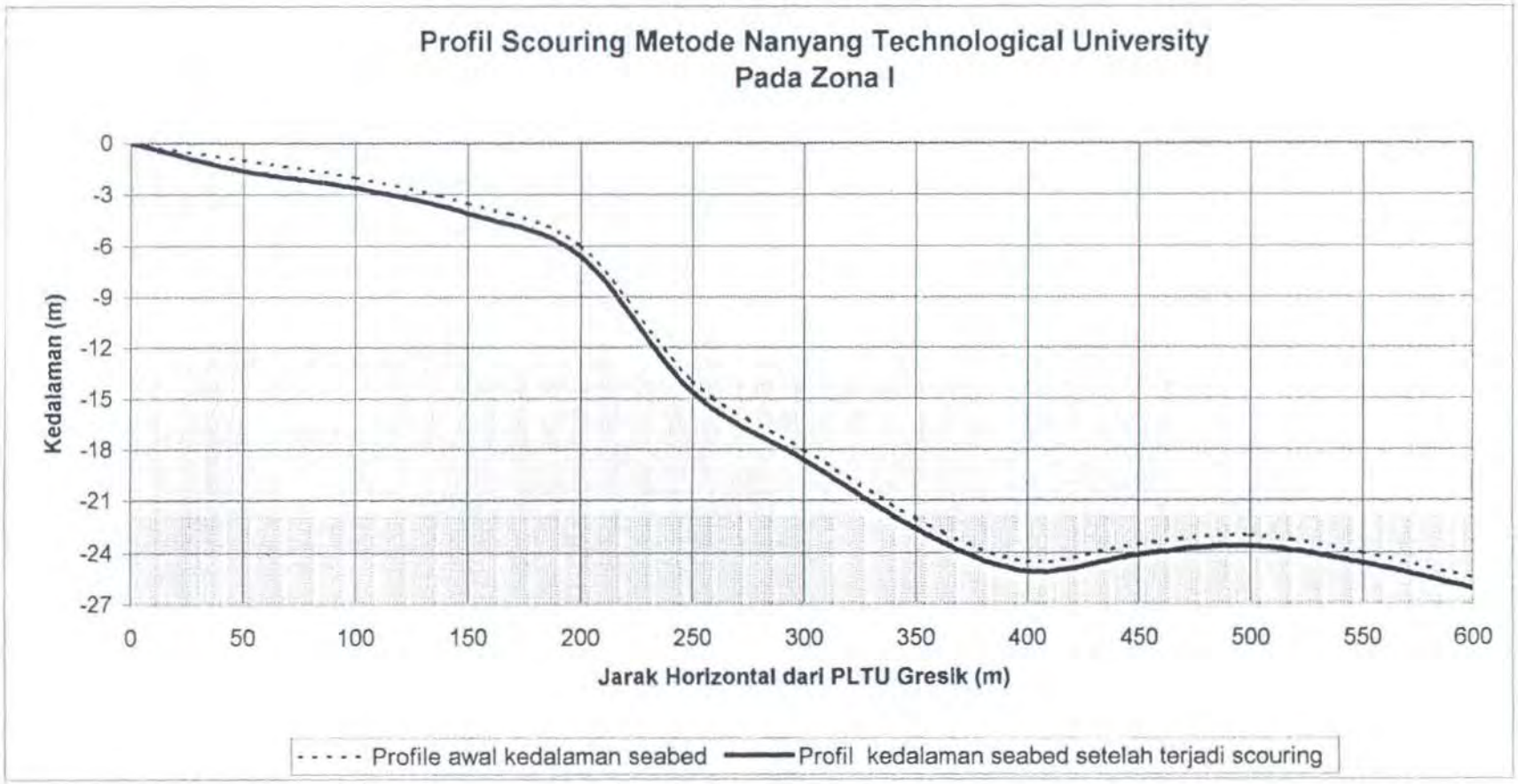
Gambar 4.6 (b). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona II dan Yo = 0,6 m



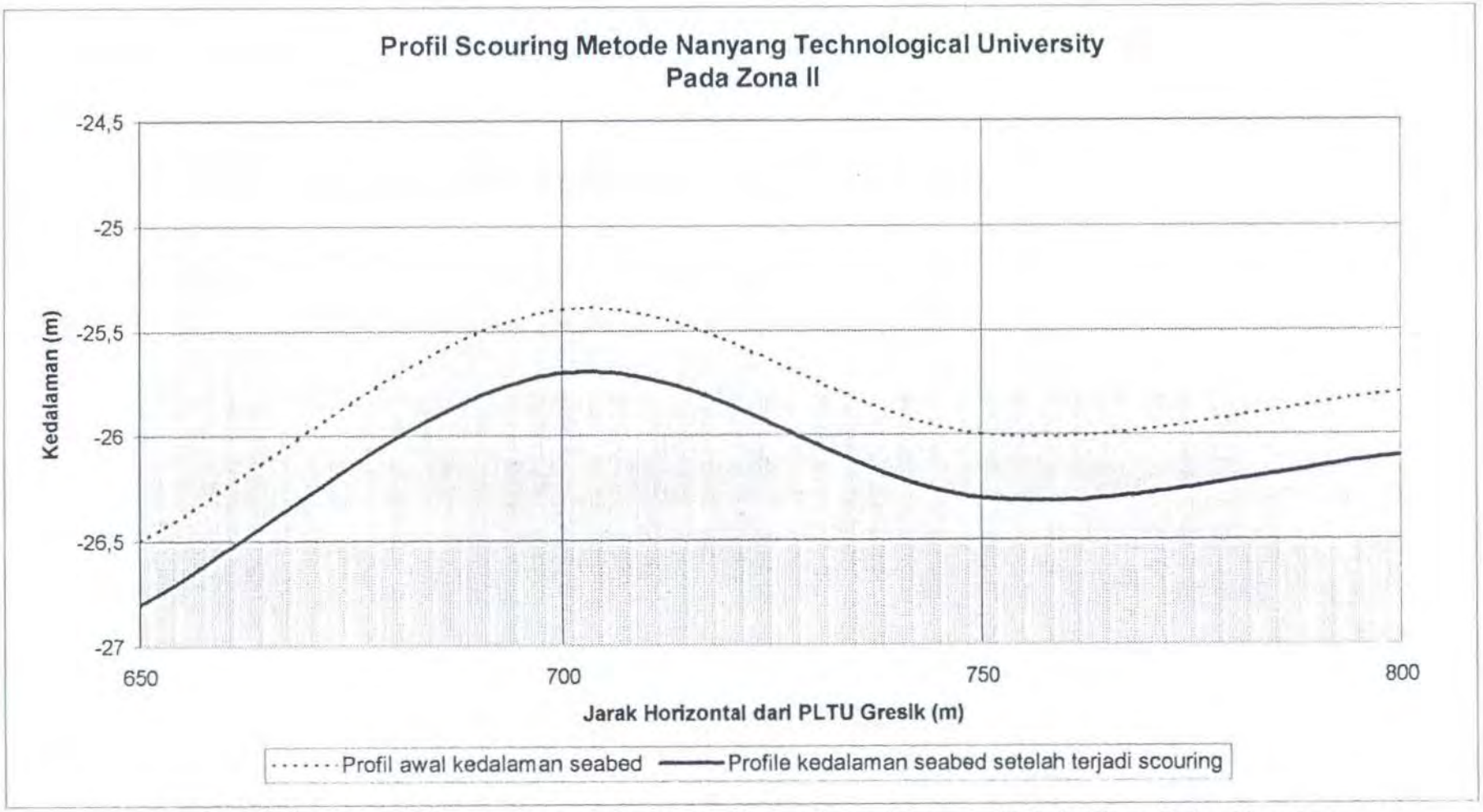
Gambar 4.6 (c). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona III dan Yo = 0,6 m



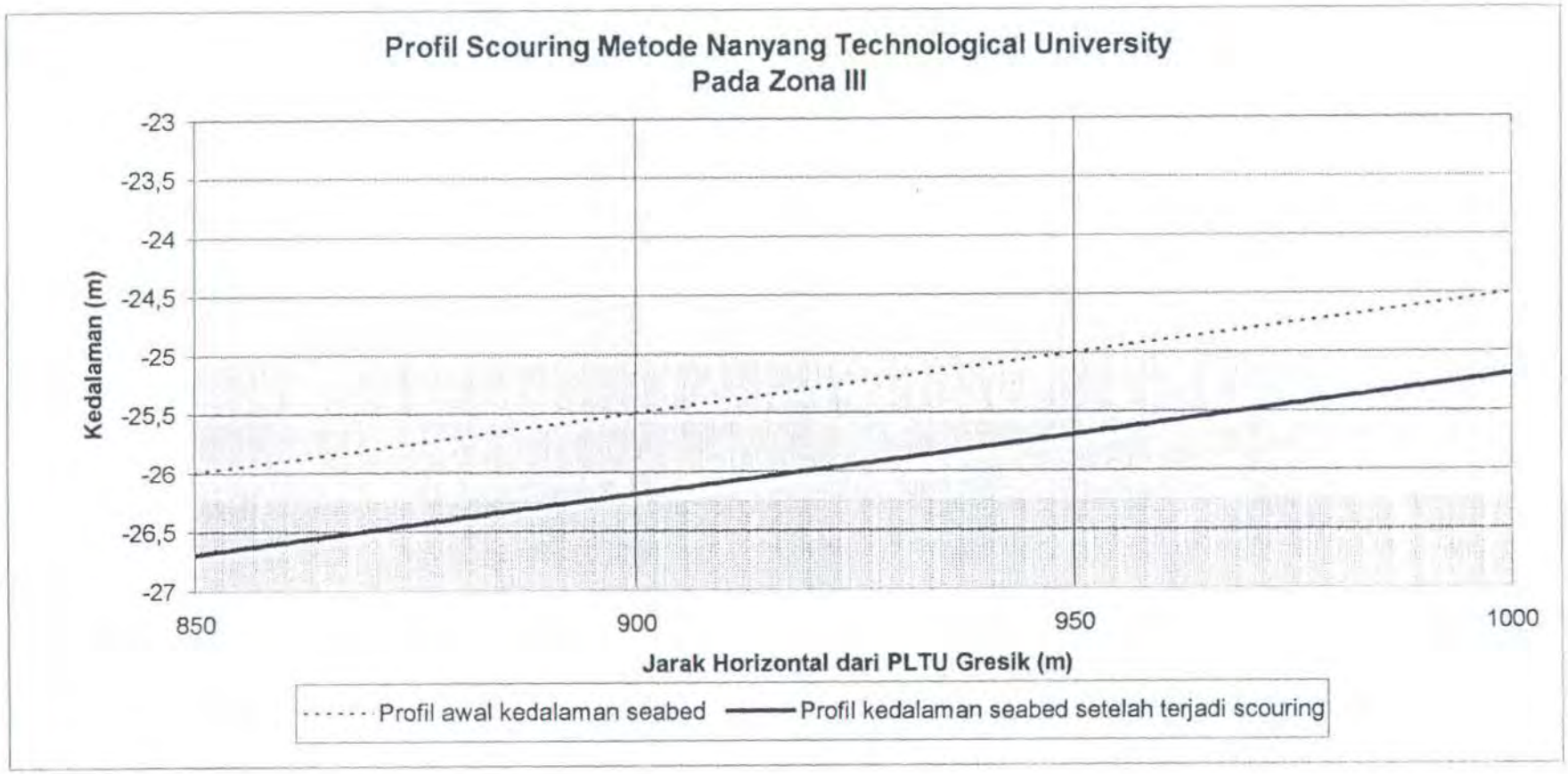
Gambar 4.6 (d). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona IV dan Yo = 0,6 m



Gambar 4.7 (a). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona I dan Yo = 1 m

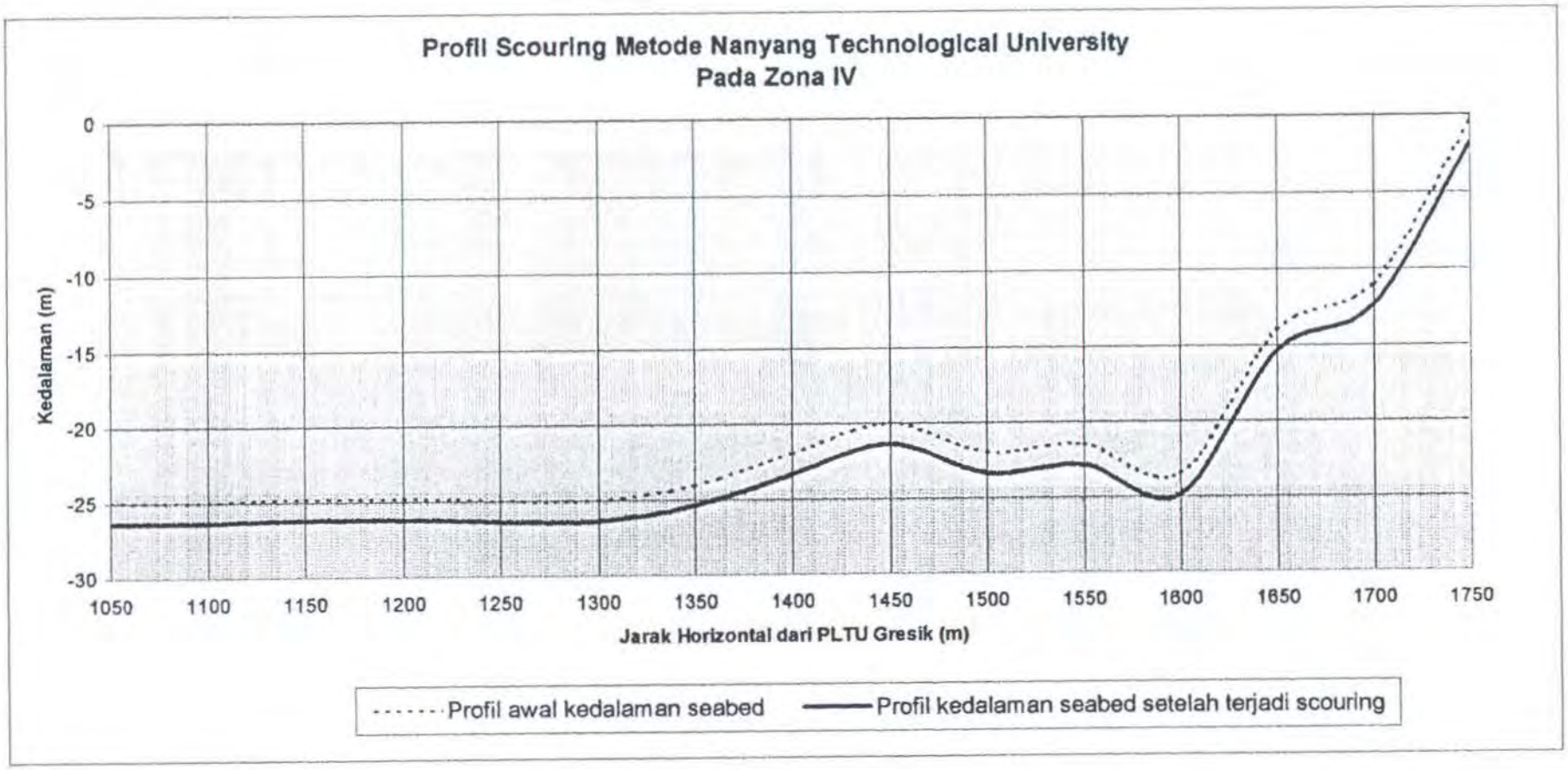


Gambar 4.7 (b). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona II dan Yo = 1 m



Gambar 4.7 (c). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona III dan Yo = 1 m

MILIK PERPUSTAKAAN ITS



Gambar 4.7 (d). Profil Scouring Metode Nanyang Technological Universiti Pada Zona IV dan Yo = 1 m

Besar kedalaman *seabed* setelah terjadi *scouring* dapat dilihat pada lampiran II.5 dan perhitungan kedalaman scouring untuk nilai Yo = 0,6 m dan Yo = 1 m masing-masing dapat dilihat pada lampiran II.6.

IV.4 Diskusi

Pada lampiran II.1 dan visualisasi pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa profil kecepatan arus akibat gelombang membentuk profil *exponential decay*. Pengaruh gelombang dalam menghasilkan kecepatan arus sangat kecil sekali ini dapat dilihat pada kedalaman 1 m kecepatan arusnya hanya sebesar 0,01475 m/s atau 1,475 cm/s dan pada kedalaman 0,5 m kecepatan arusnya hanya 0,1857 m/s atau 1,857 cm/s. Berdasarkan hasil pada tabel 4.3 dapat dianalisa bahwa kecepatan arus akibat gelombang di Selat Madura dapat diabaikan dalam perhitungan kedalaman maksimal *scouring*. Kecepatan arus di Selat Madura bukan disebabkan oleh kecepatan arus akibat gelombang melainkan kecepatan arus akibat pasang-surut.. Pengaruh gelombang dalam menghasilkan kecepatan arus hanya mencapai kedalaman 0,5 m itu pun sangat kecil sekali.

Dari tabel 4.3 diatas maka terlihat jelas bahwa kecepatan arus pasut yang paling besar terjadi pada zona IV yaitu sebesar 1,466 m/s dengan arah

terbesar pada zona IV sebesar 0,589 m dan terkecil pada zona II sebesar 0,371 m. Dengan mempertimbangkan diameter butiran dalam formulasi ternyata diperoleh bahwa walaupun kecepatan arus pada zona II lebih besar dari zona I maupun zona III namun karena diameter butiran yang lebih besar pada zona II menghasilkan kedalaman maksimal *scouring* yang lebih kecil.

Tabel 4.7 memperlihatkan bahwa untuk tiap-tiap zona semakin besar *undisturbed flow depth,* yo, maka kedalaman maksimal *scouring* akan semakin besar. Hal tersebut dapat dijelaskan yaitu dengan bertambah besarnya Yo akan memperbesar nilai kecepatan arus pada lubang *scouring*,V_{bot}, yang diperoleh dari perbandingan antara debit aliran di lubang dan kedalaman estimasi *scouring*. V_{bot} tersebut digunakan untuk menghitung tegangan geser pada lubang *scouring* sehingga dengan semakin besarnya V_{bot} akan memperbesar tegangan geser di lubang *scouring* yang berarti aliran pada lubang tersebut akan menggerus lebih banyak material tanah *seabed* hingga mencapai suatu harga kesetimbangan kedalaman maksimal *scouring*. Namun perlu diperhatikan pula dari lampiran II.6, dapat dianalisa bahwa semakin besar diameter butiran akan menghasilkan tegangan geser kritis pada lubang *scouring* yang semakin besar dengan demikian untuk masing-masing zona dengan bertambah besarnya diameter butiran akan menghasilkan kedalaman *scouring* yang

lebih kecil. Hal ini dapat dimengerti sesuai dengan syarat tercapainya kedalaman maksimal *scouring* yaitu dimana besarnya nilai tegangan geser pada lubang *scouring* sama dengan tegangan geser kritis. Selain dipengaruhi oleh V_{bot}, besarnya nilai faktor gesekan yang diperoleh bedasarkan besarnya *Reynold Number* dan kekasaran relatif. Dari hasil perhitungan pada lampiran II.6 terlihat bahwa aliran mempunyai Re lebih besar dari 2300. Menurut Fox dan McDonald (1934), suatu aliran merupakan aliran turbulen apabila Re lebih besar dari 2300 sehingga aliran yang melewati lubang *scouring* tersebut merupakan aliran turbulen.

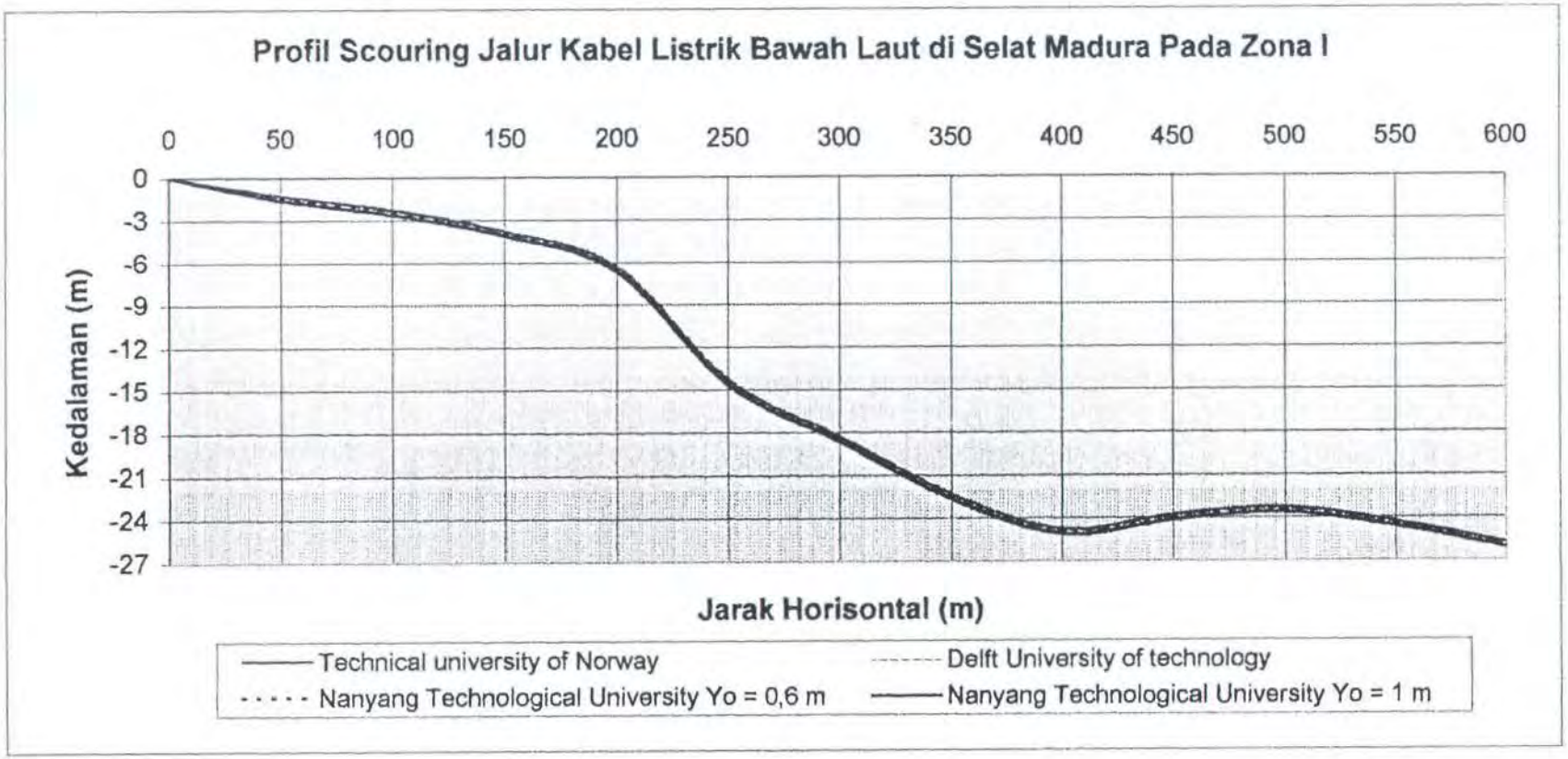
Profil kedalaman maksimal *scouring* pada jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura diatas untuk tiap-tiap zona diperlihatkan pada Gambar 4.8 (a), (b), (c),dan (d). Dari Gambar 4.8 (a), (b), (c) dan (d), maka dapat dibuat suatu urutan formulasi atau metode yang menghasilkan kedalaman *scouring* dari yang terbesar sampai yang terkecil seperti pada table 4.8 berdasarkan pada kedalaman maksimal scouring dari formulasi-formulasi diatas dalam lampiran II.7.

Hasil perhitungan dari ketiga metode diatas membuktikan bahwa *scouring* yang terjadi pada jalur kabel listrik bawah laut di Selat Madura sangat signifikan sebagai salah satu penyebab putusnya kabel listrik tersebut. Dari hasil tersebut juga dapat diketahui bahwa kedalaman *scouring*

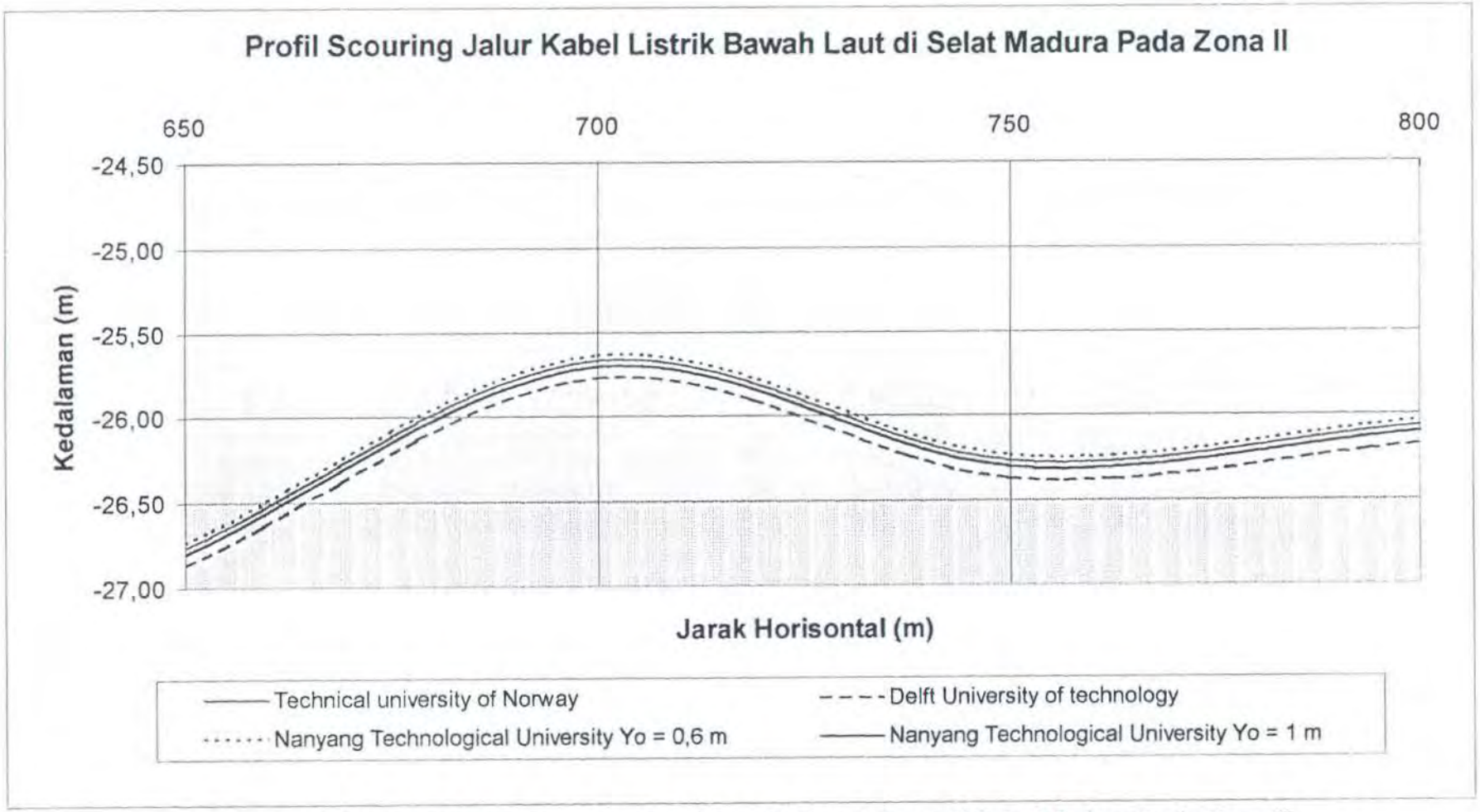
terbesar untuk ketiga formulasi atau metode tersebut terdapat pada zona IV. Apabila di kaitkan dengan putusnya kabel listrik bawah laut yang keempat pada jarak horizontal kurang lebih 1690 m dari garis pantai PLTU-Gresik (termasuk dalam zona IV) maka adalah sangat mungkin bila kabel listrik tersebut putus akibat penjangkaran kapal.

Tabel 4.8 Urutan formulasi atau metode yang menghasilkan kedalaman scouring dari yang terbesar sampai yang terkecil.

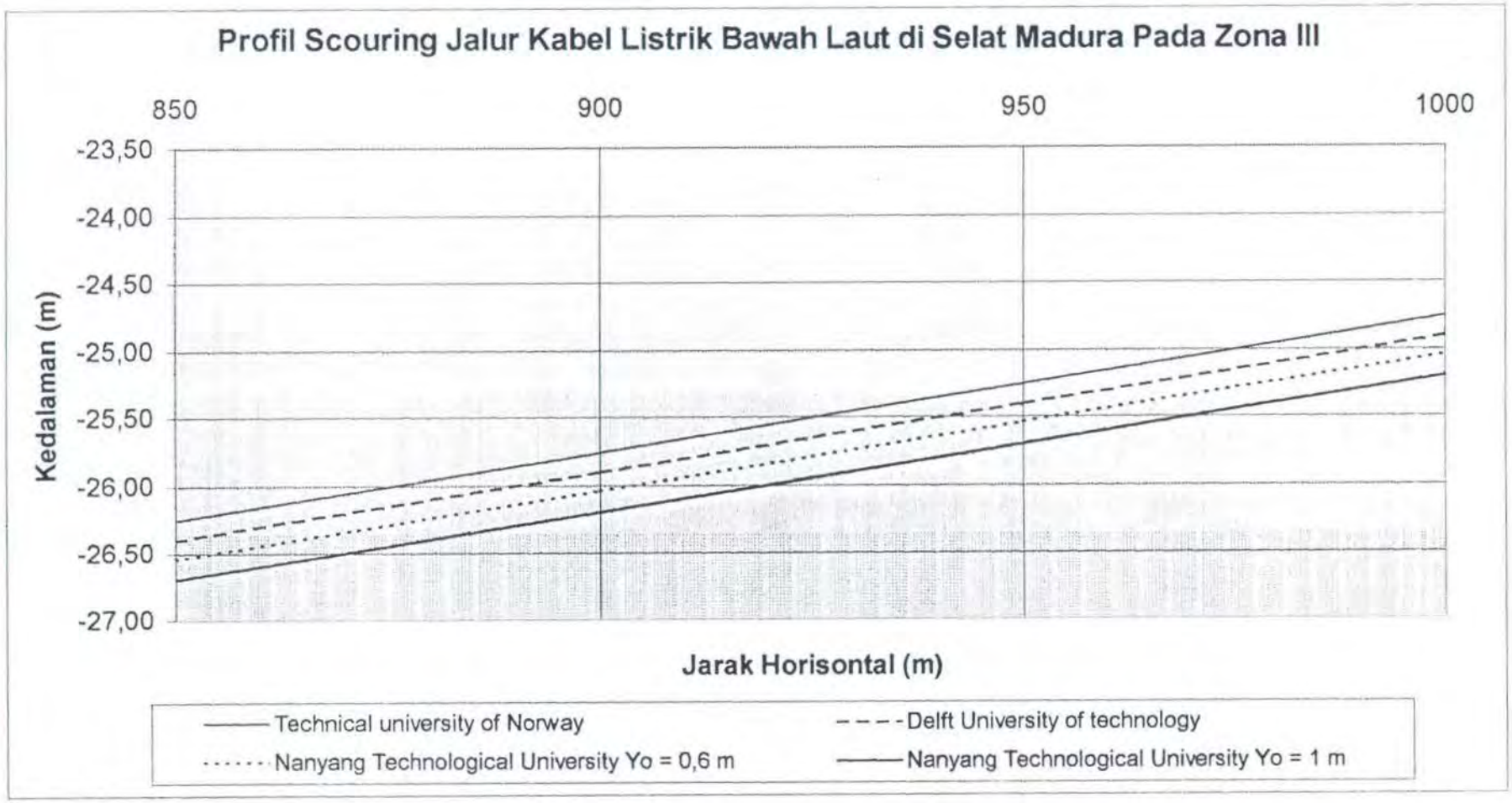
Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
Nanyang Tecnological University yo = 1 m	Delft University Of Technology	Nanyang Tecnological University yo = 1 m	Nanyang Tecnological University yo = 1 m
Nanyang Tecnological University yo = 0,6 m	Nanyang Tecnological University yo = 1 m	Nanyang Tecnological University yo = 0,6m	Nanyang Tecnological University yo = 0,6m
Delft University Of Technology	Technical University of Norway	Delft University Of Technology	Delft University Of Technology
Technical University of Norway	Nanyang Tecnological University yo = 0,6 m	Technical University of Norway	Technical University of Norway



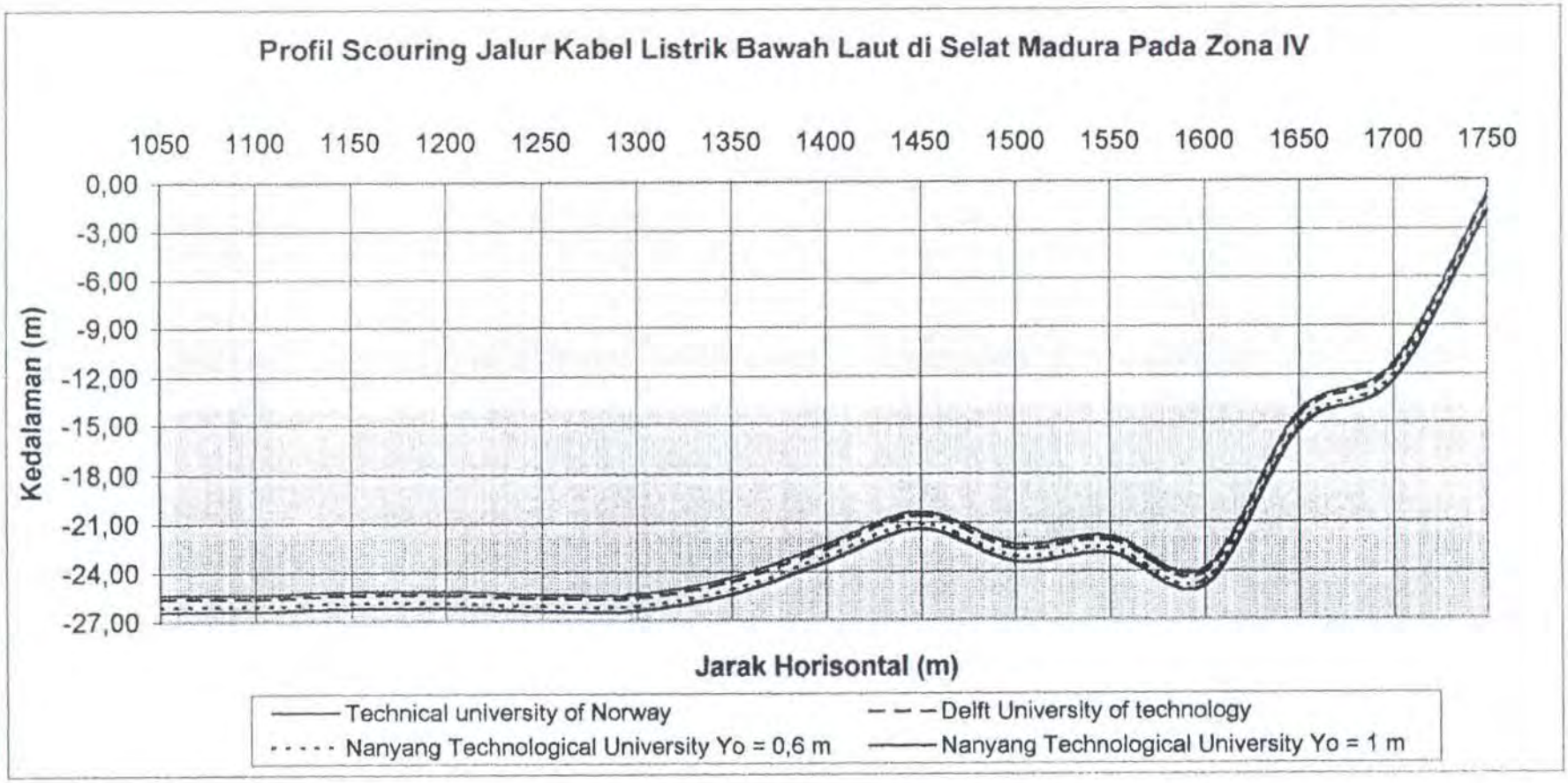
Gambar 4.8 (a) Profil Scouring Jalur Kabel Listrik Bawah Laut di Selat Madura Pada Zona I



Gambar 4.8 (b). Profil Scouring Jalur Kabel Listrik Bawah Laut di Selat Madura Pada Zona II



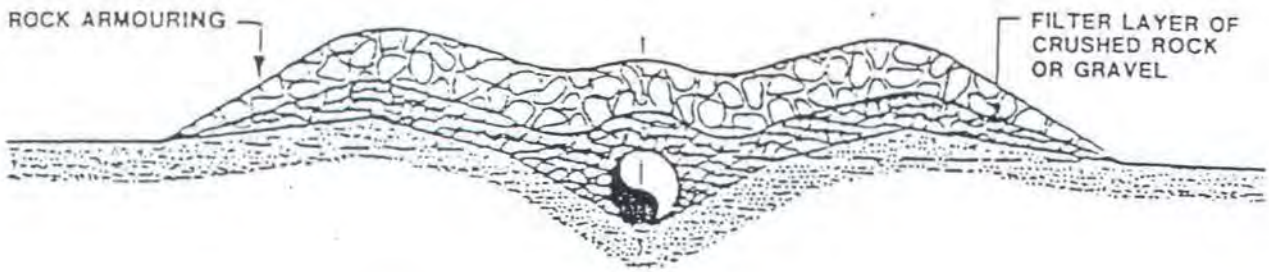
Gambar 4.8 (c). Profil Scouring Jalur Kabel Listrik Bawah Laut di Selat Madura Pada Zona III



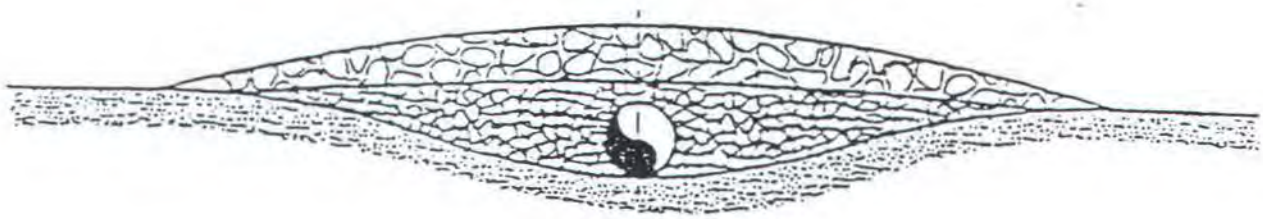
Gambar 4.8 (d). Profil Scouring Jalur Kabel Listrik Bawah Laut di Selat Madura Pada Zona IV

Formulasi yang dianggap baik dalam perhitungan kedalaman *scouring* adalah formulasi dari Delft University of Technology dan metode dari Nanyang Technological University karena pada kedua metode tersebut selain kecepatan arus, diameter butiran juga dijadikan salah faktor dalam perhitungan. Dari dua formulasi tersebut, metode dari Nanyang Technological University merupakan metode yang terbaik dengan alasan bahwa dalam metode tersebut penentuan kedalaman maksimal *scouring* mempertimbang lebih banyak variable yaitu *undisturbed flow depth,* debit dan kecepatan aliran yang melewati lubang *scouring,* nilai kekasaran relative dan faktor gesekan. Namun pada analisa *Scouring* dalam tugas akhir ini formulasi yang cocok untuk kondisi di selat Madura adalah formulasi dari Technical University of Norway. Ini dikarenakan data tanah dalam hal ini diameter butiran bukan merupakan data pada lokasi analisa melainkan data pada lokasi yang mendekati lokasi analisa. yang belum tentu memiliki karakteristik yang sama.

Adalah sangat penting untuk dilakukan suatu usaha perlindungan pada kabel listrik bawah laut di Selat Madura mengingat cukup besarnya kedalaman *scouring* dari perhitungan diatas yang mungkin saja terjadi pada lokasi bentangan kabel listrik tersebut.. Metode yang dapat dilakukan untuk perlindungan terhadap *scouring* dalam Mousselli (1981) adalah dengan mengubur kabel tersebut di bawah *seabed* atau disebut dengan *trenching methods* seperti terlihat pada Gambar 4.9 serta dengan



PIPELINE IN PLOUGHED TRENCH

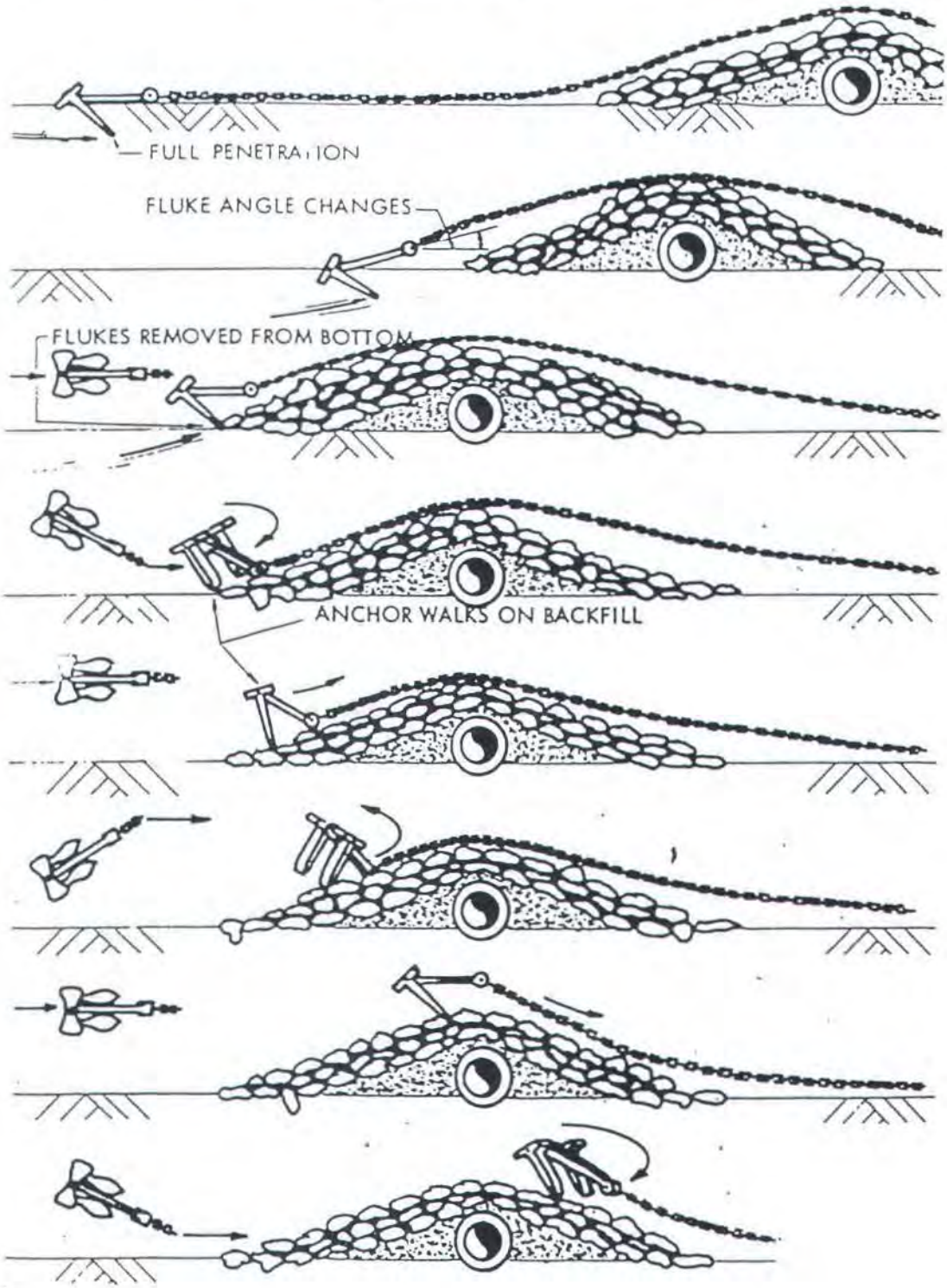


PIPELINE IN JET - SLED OR NATURAL TRENCH

PIPELINE IN DREDGED TRENCH (SHORE APPROACH)

Gambar 4..9 Tipe-tipe Trenching dengan *backfill* (Ngiam, 1997).

melindungi kabel yang terletak pada permukaan *seabed* (*on-bottom*) dengan material *gravel, concrete mats,* dan *sandbags* seperti pada Gambar 4..10. Metode tersebut sering disebut dengan *backfill.*



Gambar 4.10. Perlindungan Pipa dengan *Backfill* (Ngiam, 1997)

BAB V

PENUTUP

BAB V

PENUTUP

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan hasil perhitungan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: :

1. Kedalaman maksimal *scouring* untuk formulasi Technical University of Norway untuk zona I, zona II, zona III, dan zona IV adalah 0,254 m, 0,265 m, 0,256 m, dan 0.341 m.
2. Kedalaman maksimal *scouring* untuk formulasi Delft University of Technology untuk zona I, zona II, zona III, dan zona IV adalah 0,391 m, 0,371 m, 0,404 m, dan 0,589 m.
3. Perhitungan dengan metode Nanyang Technological University dengan nilai Yo = 0,6 m menghasilkan kedalaman maksimal *scouring* untuk zona I, zona II, zona III, dan zona IV adalah 0,4766 m, 0,2360 m, 0,541 m, dan 1,0662 m. sedangkan untuk perhitungan dengan metode Nanyang Technological University dengan nilai Yo = 1 m menghasilkan kedalaman maksimal *scouring* untuk zona I, zona II, zona III, dan zona IV adalah 0,616 m, 0,3015 m, 0,698 m, dan 1,377 m.

V.2 Saran

Keakuratan hasil perhitungan kedalaman *scouring* dengan menggunakan formulasi dan metode di atas dalam penulisan tugas akhir ini belum mencapai hasil yang semestinya. Kendala tersebut diakibatkan oleh keterbatasan dalam memperoleh data terutama data diameter butiran tanah yang sesuai dengan lokasi analisa yang dilakukan.

Disarankan untuk penelitian sejenis berikutnya yang mungkin dilakukan pada lokasi yang sama agar sebaiknya menggunakan data-data baik data perairan maupun data tanah dasar laut yang tepat sesuai dengan lokasi tersebut sehingga dapat diperoleh hasil yang akurat dan layak. Selain itu untuk hasil yang lebih cenderung mendekasti kondisi realita sebaiknya analisa dilakukan dalam kondisi *live bed condition* yaitu dengan mempertimbangkan adanya kondisi transport sedimen berupa deposisi.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Chiew, Y.M. 1997. "Pipeline Scouringr". **Submarine Pipeline Technology Seminar**, Singapore, 14 & 15 August.

Daughuty, R.L. *et al.* 1977. **Fluid Mechanics with Engineering Application,** Seventh Edition, Mc Graw-Hill, New York.

Dinas Hidro - Oceanografi TNI-AL ,1998. "Jawa - Pantai Utara Surabaya", **Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur**, Jakarta, Agustus.

Evans, J. H and J. C. Adamchak. 1969. **Ocean Engineering Structures Vol. 1,** Course notes, The M.I.T Press.

Fox, R.W and A.T McDonald. 1934. **Introduction To Fluid Mechanics,** Third Edition, John Wiley & Sons, New York.

Halliwel, A. R. 1986. **An Introduction To Offshore Pipelines**, Lecture Notes, University Cork, GB.

Herbich, J. B. 1977. "Wave-induced Scour Around Offshore Pipelines." **Proc. 9th Offshore Technology Conference**, (OTC) Vol.4, 1977, 79-90

Kinsman, B. 1965. **Wind Waves**, Dover Publication, Inc, New York.

Le Mehaute, B. 1927. **An Introduction To Hydrodynamics And Water Waves.** Springer-Verlag.

Mahmudsyah, S. 1999. "Kabel Laut Sebagai Tansmisi Daya Listrik Interkoneksi Sistem Kelistrikan Antar Pulau", **Seminar Nasional Teknik Elektro 1999**, Surabaya.

Mashud, I, dan H. H. Situmeang. 1999. "Aspek Kabel Laut Sebagai Transmisi Daya Interkoneksi Sistem Kelistrikan Antar Pulau Menghadapi Milenium Ketiga", **Seminar Nasional Teknik Elektro 1999**, Surabaya.

Mousselli, A.H. 1981. **Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods,** Penn Well Publishing Company.

Ngiam, Y. 1997. "Pipeline Construction". **Submarine Pipeline Technology Seminar**, Singapore, 14 & 15 August.

Pariwono, J.I. 1989. "Gaya Penggerak Pasang-Surut" dalam: *Pasang-Surut*. Eds: O. S. R. Ongksongo dan Suyarso. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Oseonologi - LIPI, Jakarta, Pp 13-23.

PLN, 1996. "Java - Madura Circuit 3 Proposed Route", **Cable Route Key Plan**.

PLN, 1996. "North Cable Profile", **Java - Madura Interconnection.**

Pratikto, Widi A., et al. 1997. **Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut**, BPFE-Yogyakarta, Januari.

Pratikto, Widi A. 1999. "Kajian Teknis Kabel Bawah Laut",**Seminar Nasional Teknik Elektro 1999**, Surabaya.

Stride, A. H. 1982. **Offshore Tidal Sand**, Institute of Oceanographic Science Survey, UK, Chapman dan Hall Ltd, USA..

www.eastjava.com, 1999. "Map of East Java", Tourism Information.

www.offshore-technology.com/contractors/cables/pirelli, 1999. Pirelli Submarine Cable-Submarine Power & Communication Cables.

LAMPIRAN I

DATA SEKUNDER

LAMPIRAN-I DATA SEKUNDER

Lampiran I.1 Tinggi dan periode Gelombang

Lampiran I.2 Arus pasang surut

Lampiran I.1

Date	Time	High (cm)	Period (sec.)	Direct. (°)
3-11-'92	0	calm	-	-
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	calm	-	-
	4	calm	-	-
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	calm	-	-
	13	calm	-	-
	14	calm	-	-
	15	calm	-	-
	16	calm	-	-
	17	calm	-	-
	18	calm	-	-
	19	calm	-	-
	20	calm	-	-
	21	calm	-	-
	22	calm	-	-
	23	calm	-	-
4-11-'92	0	calm	-	-
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	calm	-	-
	4	calm	-	-
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	calm	-	-
	13	calm	-	-
	14	calm	-	-
	15	calm	-	-
	16	calm	-	-
	17	calm	-	-
	18	calm	-	-
	19	calm	-	-
	20	calm	-	-
	21	calm	-	-
	22	calm	-	-
	23	20	8.00	80

Lampiran I.1

5-11-'92	0	20	23.55	45
	1	cala	-	-
	2	cala	-	-
	3	cala	-	-
	4	cala	-	-
	5	cala	-	-
	6	cala	-	-
	7	cala	-	-
	8	cala	-	-
	9	cala	-	-
	10	cala	-	-
	11	cala	-	-
	12	cala	-	-
	13	cala	-	-
	14	cala	-	-
	15	cala	-	-
	16	cala	-	-
	17	cala	-	-
	18	cala	-	-
	19	cala	-	-
	20	20	3.64	290
	21	22	4.09	295
	22	16	5.00	360
	23	cala	-	-
6-11-'92	0	cala	-	-
	1	cala	-	-
	2	cala	-	-
	3	cala	-	-
	4	cala	-	-
	5	cala	-	-
	6	cala	-	-
	7	cala	-	-
	8	cala	-	-
	9	cala	-	-
	10	cala	-	-
	11	cala	-	-
	12	cala	-	-
	13	cala	-	-
	14	cala	-	-
	15	cala	-	-
	16	cala	-	-
	17	cala	-	-
	18	cala	-	-
	19	cala	-	-
	20	cala	-	-
	21	30	6.00	290
	22	42	5.36	65
	23	31	4.82	85

7-11-'92	0	26	7.45	45
	1	25	8.82	40
	2	20	15.91	25
	3	17	11.82	85
	4	calm	-	-
	5	12	3.91	65
	6	18	5.82	60
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	16	4.22	315
	13	20	4.77	90
	14	24	6.00	90
	15	30	6.09	80
	16	16	5.91	50
	17	calm	-	-
	18	calm	-	-
	19	calm	-	-
	20	24	5.91	300
	21	28	4.91	285
	22	22	8.36	290
	23	25	4.91	320
8-11-'92	0	10	4.64	80
	1	10	5.55	85
	2	15	6.55	40
	3	10	5.00	90
	4	10	8.36	300
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	calm	-	-
	13	calm	-	-
	14	15	5.09	355
	15	calm	-	-
	16	18	8.36	310
	17	12	4.82	280
	18	13	3.82	80
	19	18	2.55	90
	20	29	2.18	90
	21	25	4.18	280
	22	20	8.82	290
	23	15	9.64	80

Lampiran I.1

9-11-'92	0	cala	-	-
	1	cala	-	-
	2	cala	-	-
	3	cala	-	-
	4	cala	-	-
	5	cala	-	-
	6	cala	-	-
	7	cala	-	-
	8	cala	-	-
	9	cala	-	-
	10	cala	-	-
	11	24	11.73	295
	12	12	3.64	90
	13	cala	-	-
	14	cala	-	-
	15	cala	-	-
	16	cala	-	-
	17	cala	-	-
	18	cala	-	-
	19	cala	-	-
	20	cala	-	-
	21	cala	-	-
	22	cala	-	-
	23	10	3.00	320
10-11-'92	0	cala	-	-
	1	cala	-	-
	2	cala	-	-
	3	cala	-	-
	4	cala	-	-
	5	cala	-	-
	6	cala	-	-
	7	cala	-	-
	8	cala	-	-
	9	24	3.69	285
	10	28	8.60	285
	11	25	4.30	290
	12	cala	-	-
	13	cala	-	-
	14	56	4.31	355
	15	cala	-	-
	16	cala	-	-
	17	cala	-	-
	18	cala	-	-
	19	cala	-	-
	20	cala	-	-
	21	cala	-	-
	22	10	5.36	80
	23	cala	-	-

11-11-'92	0	calm	-	-
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	calm	-	-
	4	calm	-	-
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	10	2.55	280
	12	13	2.45	285
	13	10	2.64	320
	14	calm	-	-
	15	calm	-	-
	16	10	3.27	60
	17	calm	-	-
	18	10	2.64	325
	19	calm	-	-
	20	18	3.27	40
	21	10	4.82	5
	22	calm	-	-
	23	calm	-	-
12-11-'92	0	calm	-	-
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	calm	-	-
	4	calm	-	-
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	24	3.64	285
	10	28	8.55	285
	11	25	4.27	290
	12	calm	-	-
	13	calm	-	-
	14	56	4.27	355
	15	calm	-	-
	16	calm	-	-
	17	calm	-	-
	18	calm	-	-
	19	calm	-	-
	20	calm	-	-
	21	calm	-	-
	22	10	5.36	80
	23	calm	-	-

Lampiran I.1

13-11-'92	0	22	7.27	310
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	calm	-	-
	4	calm	-	-
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	20	2.09	85
	13	25	2.91	90
	14	30	4.00	60
	15	25	3.55	80
	16	19	2.55	45
	17	25	5.64	25
	18	calm	-	-
	19	calm	-	-
	20	calm	-	-
	21	calm	-	-
	22	calm	-	-
	23	calm	-	-
14-11-'92	0	calm	-	-
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	calm	-	-
	4	calm	-	-
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	calm	-	-
	13	20	1.82	55
	14	calm	-	-
	15	calm	-	-
	16	25	3.45	65
	17	28	3.00	65
	18	calm	-	-
	19	calm	-	-
	20	15	3.82	65
	21	25	4.45	80
	22	30	4.36	60
	23	calm	-	-

Lampiran I.1

15-11-'92	0	cala	-	-
	1	20	7.00	15
	2	22	4.36	30
	3	12	4.09	40
	4	16	7.18	40
	5	cala	-	-
	6	cala	-	-
	7	cala	-	-
	8	cala	-	-
	9	cala	-	-
	10	cala	-	-
	11	cala	-	-
	12	cala	-	-
	13	cala	-	-
	14	12	3.73	60
	15	52	4.18	65
	16	25	4.09	60
	17	25	2.82	45
	18	10	4.27	60
	19	10	4.82	65
	20	cala	-	-
	21	cala	-	-
	22	cala	-	-
	23	cala	-	-
16-11-'92	0	12	5.27	45
	1	15	4.36	300
	2	cala	-	-
	3	cala	-	-
	4	cala	-	-
	5	cala	-	-
	6	cala	-	-
	7	cala	-	-
	8	cala	-	-
	9	cala	-	-
	10	cala	-	-
	11	cala	-	-
	12	10	2.27	65
	13	32	4.45	50
	14	30	1.91	50
	15	45	4.36	45
	16	30	4.82	60
	17	35	5.18	65
	18	20	4.00	280
	19	15	7.00	285
	20	cala	-	-
	21	cala	-	-
	22	19	4.18	10
	23	cala	-	-

17-11-'92	0	calm	-	-
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	calm	-	-
	4	calm	-	-
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	calm	-	-
	13	12	3.27	60
	14	30	2.45	20
	15	27	3.91	55
	16	20	3.55	60
	17	22	3.73	65
	18	20	3.82	60
	19	15	4.36	80
	20	15	5.27	80
	21	calm	-	-
	22	calm	-	-
	23	12	3.91	30
18-11-'92	0	calm	-	-
	1	calm	-	-
	2	calm	-	-
	3	18	6.36	350
	4	10	5.09	320
	5	calm	-	-
	6	calm	-	-
	7	calm	-	-
	8	calm	-	-
	9	calm	-	-
	10	calm	-	-
	11	calm	-	-
	12	calm	-	-
	13	calm	-	-
	14	calm	-	-
	15	25	2.91	205
	16	18	3.45	240
	17	12	5.09	280

Lampiran I.2

TABEL DATA ARUS PASUT PADA ZONA I

No	Jam	0.2 D		0.6 D		0.8 D		rata-rata	
		Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara
1	10	342	0,357	338	0,386	340	0,370	0,371	340,000
2	11	342	0,146	340	0,260	358	0,127	0,178	346,667
3	12	162	0,159	164	0,241	160	0,161	0,187	162,000
4	13	162	0,175	166	0,215	166	0,187	0,192	164,667
5	14	150	0,417	144	0,377	152	0,444	0,413	148,667
6	15	154	0,426	150	0,444	154	0,435	0,435	152,667
7	16	150	0,323	150	0,392	150	0,377	0,364	150,000
8	17	320	0,120	308	0,172	310	0,116	0,136	312,667
9	18	345	0,247	334	0,282	350	0,215	0,248	343,000
10	19	330	0,541	330	0,541	344	0,500	0,527	334,667
11	20	338	0,571	336	0,667	362	0,500	0,579	345,333
12	21	340	0,426	325	0,513	330	0,526	0,488	331,667
13	22	328	0,351	225	0,290	320	0,345	0,329	291,000
14	23	328	0,215	330	0,308	328	0,196	0,240	328,667
15	24	160	0,400	156	0,357	160	0,476	0,411	158,667
16	1	158	0,513	154	0,406	156	0,458	0,459	156,000
17	2	156	0,566	164	0,426	132	0,500	0,497	150,667
18	3	146	0,571	150	0,667	150	0,714	0,651	148,667
19	4	162	0,833	160	0,667	156	0,606	0,702	159,333
20	5	150	0,500	148	0,456	150	0,554	0,503	149,333
21	6	164	0,588	164	0,541	156	0,588	0,572	161,333
22	7	336	0,108	340	0,115	340	0,126	0,116	338,667
23	8	388	0,211	334	0,204	334	0,211	0,209	352,000
24	9	330	0,690	324	0,667	328	0,741	0,699	327,333
25	10	334	0,364	338	0,625	334	0,690	0,560	335,333
26	11	316	0,667	308	0,625	310	0,588	0,627	311,333

Lampiran I.2

TABEL DATA ARUS PASUT PADA ZONA II

No	Jam	0.2 D		0.6 D		0.8 D		rata-rata	
		Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara
1	13	338	0,426	340	0,417	330	0,385	0,409	336,000
2	14	344	0,667	342	0,625	340	0,571	0,621	342,000
3	15	340	0,714	346	0,667	340	0,294	0,558	342,000
4	16	352	0,167	350	0,167	345	0,154	0,163	349,000
5	17	120	0,079	166	0,086	164	0,075	0,080	150,000
6	18	143	0,154	143	0,152	147	0,149	0,152	144,333
7	19	154	0,435	150	0,400	160	0,377	0,404	154,667
8	20	138	0,571	152	0,571	164	0,571	0,571	151,333
9	21	170	0,323	166	0,323	180	0,282	0,309	172,000
10	22	160	0,278	160	0,278	158	0,267	0,274	159,333
11	23	340	0,075	340	0,073	344	0,074	0,074	341,333
12	24	328	0,142	331	0,140	341	0,130	0,137	333,333
13	1	340	0,444	340	0,444	344	0,400	0,429	341,333
14	2	328	0,500	326	0,500	344	0,500	0,500	332,667
15	3	347	0,339	321	0,317	330	0,217	0,291	332,667
16	4	328	0,168	345	0,163	351	0,160	0,164	341,333
17	5	160	0,230	160	0,211	160	0,200	0,214	160,000
18	6	160	0,476	160	0,625	158	0,417	0,506	159,333
19	7	160	0,667	160	0,769	158	0,556	0,664	159,333
20	8	172	0,870	170	0,741	170	0,870	0,827	170,667
21	9	166	0,500	162	0,800	166	0,455	0,585	164,667
22	10	164	0,476	156	0,741	164	0,444	0,554	161,333
23	11	220	0,025	180	0,017	256	0,033	0,025	218,667
24	12	329	0,290	340	0,274	350	0,260	0,275	339,667
25	13	350	0,526	342	0,500	342	0,468	0,498	344,667
26	14	340	0,645	345	0,556	343	0,526	0,576	342,667

Lampiran I.2

TABEL DATA ARUS PASUT PADA ZONA III

No	Jam	0.2 D		0.6 D		0.8 D		rata-rata	
		Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara
1	11	140	0,526	158	0,364	160	0,364	0,418	152,667
2	12	144	0,513	140	0,417	138	0,392	0,441	140,667
3	13	164	0,769	164	0,667	164	0,571	0,669	164,000
4	14	144	0,333	148	0,333	148	0,308	0,325	146,667
5	15	160	0,299	158	0,299	154	0,299	0,299	157,333
6	16	340	0,244	342	0,317	320	0,313	0,291	334,000
7	17	338	1,000	338	0,625	334	0,526	0,717	336,667
8	18	344	0,833	340	0,566	340	0,400	0,600	341,333
9	19	330	0,588	350	0,278	345	0,370	0,412	341,667
10	20	338	0,588	340	0,500	344	0,406	0,498	340,667
11	21	324	0,952	320	0,290	326	0,667	0,636	323,333
12	22	342	0,541	348	0,417	350	0,400	0,453	346,667
13	23	324	0,345	326	0,317	321	0,250	0,304	323,667
14	24	153	0,526	156	0,466	156	0,400	0,464	155,000
15	1	156	0,541	150	0,377	150	0,357	0,425	152,000
16	2	154	0,625	154	0,541	156	0,571	0,579	154,667
17	3	150	0,741	146	0,426	152	0,351	0,506	149,333
18	4	158	0,714	160	0,556	153	0,526	0,599	157,000
19	5	160	0,135	156	0,160	153	0,200	0,165	156,333
20	6	320	0,194	316	0,206	328	0,204	0,201	321,333
21	7	338	0,444	346	0,313	346	0,278	0,345	343,333
22	8	340	0,426	322	0,426	324	0,645	0,499	328,667
23	9	350	0,200	348	0,253	332	0,235	0,229	343,333
24	10	340	0,241	340	0,313	328	0,260	0,271	336,000
25	11	210	0,143	216	0,006	210	0,012	0,054	212,000
26	12	154	0,111	158	0,174	158	0,139	0,141	156,667

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

LAMPIRAN II

HASIL PERHITUNGAN

LAMPIRAN-II HASIL PERHITUNGAN

Lampiran II.1	Tabel perhitungan kecepatan arus akibat gelombang
Lampiran II.1	Tabel perhitungan kecepatan dan arah arus pasut maksimum
Lampiran II.3	Tabel kedalaman perairan sebelum dan sesudah scouring formulasi Technical University of Norway
Lampiran II.4	Tabel edalamanan perairan sebelum dan sesudah scouring formulasi Delft University of Technology
Lampiran II.5	Tabel kedalamanan perairan sebelum dan sesudah scouring formulasi Nanyang Technological University
Lampiran II.6	Perhitungan kedalaman scouring formulasi Nanyang Technological University

Lampiran II.1

TABEL PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS AKIBAT GELOMBANG

Zona 1

Jarak Horisontal (m)	Kecepatan Gelombang (m/s)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)				
			di permukaan	0,8 d dari dasar	0,6 d dari dasar	0,2 d dari dasar	di dasar
50	6,5296	-1	0,02337	0,02131	0,01944	0,01617	0,01475
100	6,5296	-2	0,02337	0,01944	0,01617	0,01119	0,00931
150	6,5296	-3,5	0,02337	0,01693	0,01227	0,00644	0,00467
200	6,5296	-6	0,02337	0,01345	0,00774	0,00257	0,00148
250	6,5296	-14	0,02337	0,00644	0,00178	0,00013	0,00004
300	6,5296	-18	0,02337	0,00446	0,00085	0,00003	0,00001
350	6,5296	-22	0,02337	0,00309	0,00041	0,00001	0,00000
400	6,5296	-24,5	0,02337	0,00245	0,00026	0,00000	0,00000
450	6,5296	-23,5	0,02337	0,00269	0,00031	0,00000	0,00000
500	6,5296	-23	0,02337	0,00281	0,00034	0,00000	0,00000
550	6,5296	-24	0,02337	0,00257	0,00028	0,00000	0,00000
600	6,5296	-25,5	0,02337	0,00224	0,00021	0,00000	0,00000

Zona 2

Jarak Horisontal (m)	Kecepatan Gelombang (m/s)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)				
			di permukaan	0,8 d dari dasar	0,6 d dari dasar	0,2 d dari dasar	di dasar
650	6,5296	-26,5	0,02337	0,00204	0,00018	0,00000	0,00000
700	6,5296	-25,4	0,02337	0,00226	0,00022	0,00000	0,00000
750	6,5296	-26	0,02337	0,00213	0,00020	0,00000	0,00000
800	6,5296	-25,8	0,02337	0,00217	0,00020	0,00000	0,00000

Lampiran II.1

TABEL PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS AKIBAT GELOMBANG

Zona 3

Jarak Horisontal (m)	Kecepatan Gelombang (m/s)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)				
			di permukaan	0,8 d dari dasar	0,6 d dari dasar	0,2 d dari dasar	di dasar
850	6,5296	-26	0,02337	0,00213	0,00020	0,00000	0,00000
900	6,5296	-25,5	0,02337	0,00224	0,00021	0,00000	0,00000
950	6,5296	-25	0,02337	0,00234	0,00023	0,00000	0,00000
1000	6,5296	-24,5	0,02337	0,00245	0,00026	0,00000	0,00000

Zona 4

Jarak Horisontal (m)	Kecepatan Gelombang (m/s)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)				
			di permukaan	0,8 d dari dasar	0,6 d dari dasar	0,2 d dari dasar	di dasar
1050	6,5296	-25	0,02337	0,00234	0,00023	0,00000	0,00000
1100	6,5296	-25	0,02337	0,00234	0,00023	0,00000	0,00000
1150	6,5296	-24,8	0,02337	0,00238	0,00024	0,00000	0,00000
1200	6,5296	-24,8	0,02337	0,00238	0,00024	0,00000	0,00000
1250	6,5296	-25	0,02337	0,00234	0,00023	0,00000	0,00000
1300	6,5296	-25	0,02337	0,00234	0,00023	0,00000	0,00000
1350	6,5296	-24	0,02337	0,00257	0,00028	0,00000	0,00000
1400	6,5296	-22	0,02337	0,00309	0,00041	0,00001	0,00000
1450	6,5296	-20	0,02337	0,00371	0,00059	0,00001	0,00000
1500	6,5296	-22	0,02337	0,00309	0,00041	0,00001	0,00000
1550	6,5296	-21,5	0,02337	0,00323	0,00045	0,00001	0,00000
1600	6,5296	-23,5	0,02337	0,00269	0,00031	0,00000	0,00000
1650	6,5296	-14	0,02337	0,00644	0,00178	0,00013	0,00004
1700	6,5296	-11	0,02337	0,00849	0,00309	0,00041	0,00015
1750	6,5296	-0,5	0,02337	0,02232	0,02131	0,01944	0,01857

Lampiran II.2

TABEL PERHITUNGAN KECEPATAN DAN ARAH ARUS PASUT MAKSIMUM PADA ZONA I

No	Jam	0.2 D		0.6 D		0.8 D		rata-rata		sudut thd arus yang tegak-lurus kabel	Kecepatan Maksimum
		Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara		
1	10	342	0,357	338	0,386	340	0,370	0,371	340,000	8,955	0,366
2	11	342	0,146	340	0,260	358	0,127	0,178	346,667	15,622	0,171
3	12	162	0,159	164	0,241	160	0,161	0,187	162,000	10,955	0,184
4	13	162	0,175	166	0,215	166	0,187	0,192	164,667	13,622	0,187
5	14	150	0,417	144	0,377	152	0,444	0,413	148,667	2,378	0,412
6	15	154	0,426	150	0,444	154	0,435	0,435	152,667	1,622	0,435
7	16	150	0,323	150	0,392	150	0,377	0,364	150,000	1,045	0,364
8	17	320	0,120	308	0,172	310	0,116	0,136	312,667	18,378	0,129
9	18	345	0,247	334	0,282	350	0,215	0,248	343,000	11,955	0,243
10	19	330	0,541	330	0,541	344	0,500	0,527	334,667	3,622	0,526
11	20	338	0,571	336	0,667	362	0,500	0,579	345,333	14,288	0,561
12	21	340	0,426	325	0,513	330	0,526	0,488	331,667	0,622	0,488
13	22	328	0,351	225	0,290	320	0,345	0,329	291,000	40,045	0,252
14	23	328	0,215	330	0,308	328	0,196	0,240	328,667	2,378	0,239
15	24	160	0,400	156	0,357	160	0,476	0,411	158,667	7,622	0,407
16	1	158	0,513	154	0,406	156	0,458	0,459	156,000	4,955	0,457
17	2	156	0,566	164	0,426	132	0,500	0,497	150,667	0,378	0,497
18	3	146	0,571	150	0,667	150	0,714	0,651	148,667	2,378	0,650
19	4	162	0,833	160	0,667	156	0,606	0,702	159,333	8,288	0,695
20	5	150	0,500	148	0,456	150	0,554	0,503	149,333	1,712	0,503
21	6	164	0,588	164	0,541	156	0,588	0,572	161,333	10,288	0,563
22	7	336	0,108	340	0,115	340	0,126	0,116	338,667	7,622	0,115
23	8	388	0,211	334	0,204	334	0,211	0,209	352,000	20,955	0,195
24	**9**	**330**	**0,690**	**324**	**0,667**	**328**	**0,741**	**0,699**	**327,333**	**3,712**	**0,698**
25	10	334	0,364	338	0,625	334	0,690	0,560	335,333	4,288	0,558
26	11	316	0,667	308	0,625	310	0,588	0,627	311,333	19,712	0,590

Lampiran II.2

TABEL PERHITUNGAN KECEPATAN DAN ARAH ARUS PASUT MAKSIMUM PADA ZONA II

No	Jam	0.2 D		0.6 D		0.8 D		rata-rata		sudut thd arus yang tegak-lurus kabel	Kecepatan Maksimum
		Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara		
1	13	338	0,426	340	0,417	330	0,385	0,409	336,000	4,955	0,408
2	14	344	0,667	342	0,625	340	0,571	0,621	342,000	10,955	0,610
3	15	340	0,714	346	0,667	340	0,294	0,558	342,000	10,955	0,548
4	16	352	0,167	350	0,167	345	0,154	0,163	349,000	17,955	0,155
5	17	120	0,079	166	0,086	164	0,075	0,080	150,000	1,045	0,080
6	18	143	0,154	143	0,152	147	0,149	0,152	144,333	6,712	0,151
7	19	154	0,435	150	0,400	160	0,377	0,404	154,667	3,622	0,403
8	20	138	0,571	152	0,571	164	0,571	0,571	151,333	0,288	0,571
9	21	170	0,323	166	0,323	180	0,282	0,309	172,000	20,955	0,289
10	22	160	0,278	160	0,278	158	0,267	0,274	159,333	8,288	0,271
11	23	340	0,075	340	0,073	344	0,074	0,074	341,333	10,288	0,073
12	24	328	0,142	331	0,140	341	0,130	0,137	333,333	2,288	0,137
13	1	340	0,444	340	0,444	344	0,400	0,429	341,333	10,288	0,422
14	2	328	0,500	326	0,500	344	0,500	0,500	332,667	1,622	0,500
15	3	347	0,339	321	0,317	330	0,217	0,291	332,667	1,622	0,291
16	4	328	0,168	345	0,163	351	0,160	0,164	341,333	10,288	0,161
17	5	160	0,230	160	0,211	160	0,200	0,214	160,000	8,955	0,211
18	6	160	0,476	160	0,625	158	0,417	0,506	159,333	8,288	0,501
19	7	160	0,667	160	0,769	158	0,556	0,664	159,333	8,288	0,657
20	**8**	**172**	**0,870**	**170**	**0,741**	**170**	**0,870**	**0,827**	**170,667**	**19,622**	**0,779**
21	9	166	0,500	162	0,800	166	0,455	0,585	164,667	13,622	0,569
22	10	164	0,476	156	0,741	164	0,444	0,554	161,333	10,288	0,545
23	11	220	0,025	180	0,017	256	0,033	0,025	218,667	67,622	0,010
24	12	329	0,290	340	0,274	350	0,260	0,275	339,667	8,622	0,272
25	13	350	0,526	342	0,500	342	0,468	0,498	344,667	13,622	0,484
26	14	340	0,645	345	0,556	343	0,526	0,576	342,667	11,622	0,564

Lampiran II.2

TABEL PERHITUNGAN KECEPATAN DAN ARAH ARUS PASUT MAKSIMUM PADA ZONA IV

No	Jam	0.2 D		0.6 D		0.8 D		rata-rata		sudut thd arus yang tegak-lurus kabel	Kecepatan Maksimum
		Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Arah thd utara		
1	10	342	0,446	342	0,476	342	0,403	0,442	342,000	10,955	0,434
2	11	340	0,424	340	0,513	340	0,446	0,461	340,000	8,955	0,455
3	12	342	0,568	342	0,606	342	0,833	0,669	342,000	10,955	0,657
4	13	204	0,045	148	0,114	176	0,064	0,074	176,000	24,955	0,067
5	14	324	0,298	148	0,339	140	0,694	0,444	204,000	52,955	0,267
6	15	138	0,543	138	0,909	138	1,190	0,881	138,000	13,045	0,858
7	16	206	0,714	206	0,571	206	0,568	0,618	206,000	54,955	0,355
8	17	124	0,134	142	0,108	142	0,133	0,125	136,000	15,045	0,121
9	18	324	0,298	324	0,270	324	0,500	0,356	324,000	7,045	0,353
10	19	328	1,136	328	1,111	328	1,316	1,188	328,000	3,045	1,186
11	20	340	0,595	340	0,800	340	0,595	0,663	340,000	8,955	0,655
12	21	342	1,136	342	1,053	342	1,087	1,092	342,000	10,955	1,072
13	22	346	0,694	340	0,800	346	0,862	0,785	344,000	12,955	0,765
14	23	346	0,625	340	0,800	346	0,962	0,796	344,000	12,955	0,775
15	24	342	0,132	76	0,156	122	0,325	0,204	180,000	28,955	0,179
16	1	340	0,142	62	0,071	122	0,424	0,212	174,667	23,622	0,195
17	2	140	1,000	140	0,870	140	1,190	1,020	140,000	11,045	1,001
18	3	142	1,000	142	0,870	142	0,926	0,932	142,000	9,045	0,920
19	4	158	1,000	158	0,800	158	0,641	0,814	158,000	6,955	0,808
20	5	146	1,067	146	1,063	146	0,882	1,004	146,000	5,045	1,000
21	6	146	1,316	146	1,176	146	1,471	1,321	146,000	5,045	1,316
22	7	142	0,595	170	0,625	142	0,758	0,659	151,333	0,288	0,659
23	8	320	0,275	320	0,213	320	0,862	0,450	320,000	11,045	0,442
24	9	328	1,250	328	1,333	328	1,563	1,382	328,000	3,045	1,380
25	**10**	**320**	**1,667**	**320**	**1,250**	**320**	**1,563**	**1,493**	**320,000**	**11,045**	**1,466**

Lampiran II.3

TABEL KEDALAMAN PERAIRAN SEBELUM DAN SESUDAH SCOURING FORMULASI TECHNICAL UNIVERSITY OF NORWAY

	Jarak Horisontal (m)	Kedalaman Perairan (m)	
		Sebelum Scouring	Setelah Scouring
Zona I	0	0	0
	50	-1	-1,26
	100	-2	-2,25
	150	-3,5	-3,75
	200	-6	-6,25
	250	-14	-14,25
	300	-18	-18,25
	350	-22	-22,25
	400	-24,5	-24,75
	450	-23,5	-23,75
	500	-23	-23,25
	550	-24	-24,25
	600	-25,5	-25,75
Zona II	650	-26,5	-26,765
	700	-25,4	-25,665
	750	-26	-26,265
	800	-25,8	-26,065
Zona III	850	-26	-26,256
	900	-25,5	-25,756
	950	-25	-25,256
	1000	-24,5	-24,756
Zona IV	1050	-25	-25,341
	1100	-25	-25,341
	1150	-24,8	-25,141
	1200	-24,8	-25,141
	1250	-25	-25,341
	1300	-25	-25,341
	1350	-24	-24,341
	1400	-22	-22,341
	1450	-20	-20,341
	1500	-22	-22,341
	1550	-21,5	-21,841
	1600	-23,5	-23,841
	1650	-14	-14,341
	1700	-11	-11,341
	1750	-0,5	-0,843

Lampiran II.4

TABEL KEDALAMAN PERAIRAN SEBELUM DAN SESUDAH SCOURING
FORMULASI DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

	Jarak Horisontal (m)	Kedalaman Perairan (m)	
		Sebelum Scouring	Setelah Scouring
Zona I	0	0	0
	50	-1	-1,40
	100	-2	-2,39
	150	-3,5	-3,89
	200	-6	-6,39
	250	-14	-14,39
	300	-18	-18,39
	350	-22	-22,39
	400	-24,5	-24,89
	450	-23,5	-23,89
	500	-23	-23,39
	550	-24	-24,39
	600	-25,5	-25,89
Zona II	650	-26,5	-26,87
	700	-25,4	-25,77
	750	-26	-26,37
	800	-25,8	-26,17
Zona III	850	-26	-26,40
	900	-25,5	-25,90
	950	-25	-25,40
	1000	-24,5	-24,90
Zona IV	1050	-25	-25,59
	1100	-25	-25,59
	1150	-24,8	-25,39
	1200	-24,8	-25,39
	1250	-25	-25,59
	1300	-25	-25,59
	1350	-24	-24,59
	1400	-22	-22,59
	1450	-20	-20,59
	1500	-22	-22,59
	1550	-21,5	-22,09
	1600	-23,5	-24,09
	1650	-14	-14,59
	1700	-11	-11,59
	1750	-0,5	-1,09

TABEL KEDALAMAN PERAIRAN SEBELUM DAN SESUDAH SCOURING FORMULASI NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY (Yo = 0,6 m)

	Jarak Horisontal (m)	Kedalaman Perairan (m)	
		Sebelum Scouring	Setelah Scouring
Zona I	0	0	0
	50	-1	-1,48
	100	-2	-2,48
	150	-3,5	-3,98
	200	-6	-6,48
	250	-14	-14,48
	300	-18	-18,48
	350	-22	-22,48
	400	-24,5	-24,98
	450	-23,5	-23,98
	500	-23	-23,48
	550	-24	-24,48
	600	-25,5	-25,98
Zona II	650	-26,5	-26,74
	700	-25,4	-25,64
	750	-26	-26,24
	800	-25,8	-26,04
Zona III	850	-26	-26,54
	900	-25,5	-26,04
	950	-25	-25,54
	1000	-24,5	-25,04
Zona IV	1050	-25	-26,07
	1100	-25	-26,07
	1150	-24,8	-25,87
	1200	-24,8	-25,87
	1250	-25	-26,07
	1300	-25	-26,07
	1350	-24	-25,07
	1400	-22	-23,07
	1450	-20	-21,07
	1500	-22	-23,07
	1550	-21,5	-22,57
	1600	-23,5	-24,57
	1650	-14	-15,07
	1700	-11	-12,07
	1750	**-0,5**	**-1,57**

TABEL KEDALAMAN PERAIRAN SEBELUM DAN SESUDAH SCOURING FORMULASI NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY (Yo = 1 m)

	Jarak Horisontal (m)	Kedalaman Perairan (m)	
		Sebelum Scouring	Setelah Scouring
Zona I	0	0	0
	50	-1	-1,62
	100	-2	-2,62
	150	-3,5	-4,12
	200	-6	-6,62
	250	-14	-14,62
	300	-18	-18,62
	350	-22	-22,62
	400	-24,5	-25,12
	450	-23,5	-24,12
	500	-23	-23,62
	550	-24	-24,62
	600	-25,5	-26,12
Zona II	650	-26,5	-26,80
	700	-25,4	-25,70
	750	-26	-26,30
	800	-25,8	-26,10
Zona III	850	-26	-26,70
	900	-25,5	-26,20
	950	-25	-25,70
	1000	-24,5	-25,20
Zona IV	1050	-25	-26,38
	1100	-25	-26,38
	1150	-24,8	-26,18
	1200	-24,8	-26,18
	1250	-25	-26,38
	1300	-25	-26,38
	1350	-24	-25,38
	1400	-22	-23,38
	1450	-20	-21,38
	1500	-22	-23,38
	1550	-21,5	-22,88
	1600	-23,5	-24,88
	1650	-14	-15,38
	1700	-11	-12,38
	1750	-0,5	-1,88

Lampiran II.6

PERHITUNGAN KEDALAMAN SCOURING FORMULASI NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

Kekasaran Relatif = $\frac{d_{50}}{(d_s)_{est}}$

Re = $\frac{V_{bot} \cdot (d_s)_{est}}{\nu}$

ZONA I

Vo =	0,689	m/s	
d_{50} =	0,000221	m	
ρ =	1025	g/m^3	
ν =	8,50E-07	m^2/det	
Yo =	0,60	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	4,000		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,29	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	0,4134	m^2/det
q_{bot} =	0,1199	m^2/det	
d_{est} =	**0,4766**	**m**	
V_{bot} =	0,2516	m/det	
KR =	0,0005		
Re =	1,41E+05		
f =	0,01850	(Gambar II.9)	
τ_{bot} =	0,15001	pa	
τ_{cr} =	0,15000	pa	

ZONA II

Vo =	0,779	m/s	
d_{50} =	0,0035	m	
ρ =	1025	g/m^3	
ν =	8,50E-07	m^2/det	
Yo =	0,60	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	4,000		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,29	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	0,4674	m^2/det
q_{bot} =	0,1355	m^2/det	
d_{est} =	**0,2360**	**m**	
V_{bot} =	0,5744	m/det	
KR =	0,0148		
Re =	1,59E+05		
f =	0,04380	(Gambar II.9)	
τ_{bot} =	1,85137	pa	
τ_{cr} =	1,85000	pa	

ITS

Lampiran II.6

PERHITUNGAN KEDALAMAN SCOURING FORMULASI NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

$$\text{ekasaran Relatif} = \frac{d_{50}}{(d_s)_{est}}$$

$$Re = \frac{V_{bot} \cdot (d_s)_{est}}{\nu}$$

ZONA III

Vo =	0,714	m/s	
d_{50} =	0,000133	m	
ρ =	1025	g/m^3	
ν =	8,50E-07	m^2/det	
Yo =	0,60	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	4,000		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,29	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	0,4284	m^2/det
q_{bot} =	0,1242	m^2/det	
d_{est} =	**0,5410**	**m**	
V_{bot} =	0,2296	m/det	
KR =	0,0002		
Re =	1,46E+05		
f =	0,01790	(Gambar II.9)	
τ_{bot} =	0,12094	pa	
τ_{cr} =	0,12000	pa	

ZONA IV

Vo =	1,466	m/s	
d_{50} =	0,000124	m	
ρ =	1025	g/m^3	
ν =	8,50E-07	m^2/det	
Yo =	0,60	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	4,000		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,29	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	0,8794	m^2/det
q_{bot} =	0,2550	m^2/det	
d_{est} =	**1,0662**	**m**	
V_{bot} =	0,2392	m/det	
KR =	0,0001		
Re =	3,00E+05		
f =	0,01570	(Gambar II.9)	
τ_{bot} =	0,11509	pa	
τ_{cr} =	0,11500	pa	

Lampiran II.6

PERHITUNGAN KEDALAMAN SCOURING FORMULASI NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

Kekasaran Relatif = $\frac{d_{50}}{(d_s)_{est}}$

Re = $\frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$

ZONA I

Vo =	0,689	m/s	
d_{50} =	0,000221	m	
ρ =	1025	g/m³	
ν =	8,50E-07	m²/det	
Yo =	1,00	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	6,667		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,23	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	0,689	m²/det
q_{bot} =	0,1585	m²/det	
d_{est} =	**0,6160**	**m**	
V_{bot} =	0,2573	m/det	
KR =	0,0004		
Re =	1,86E+05		
f =	0,01780	(Moody diagram)	
τ_{bot} =	0,15093	pa	
τ_{cr} =	0,15000	pa	

ZONA II

Vo =	0,779	m/s	
d_{50} =	0,0035	m	
ρ =	1025	g/m³	
ν =	8,50E-07	m²/det	
Yo =	1,00	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	6,667		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,23	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	0,779	m²/det
q_{bot} =	0,1792	m²/det	
d_{est} =	**0,3015**	**m**	
V_{bot} =	0,5943	m/det	
KR =	0,0116		
Re =	2,11E+05		
f =	0,04090	(Moody diagram)	
τ_{bot} =	1,85060	pa	
τ_{cr} =	1,85000	pa	

Lampiran II.6

PERHITUNGAN KEDALAMAN SCOURING FORMULASI NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

Kekasaran Relatif = $\frac{d_{50}}{(d_s)_{est}}$

Re = $\frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$

ZONA III

Vo =	0,714	m/s	
d_{50} =	0,000133	m	
ρ =	1025	g/m³	
ν =	8,50E-07	m²/det	
Yo =	1,00	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	6,667		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,23	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	0,714	m²/det
q_{bot} =	0,1642	m²/det	
d_{est} =	**0,6980**	**m**	
V_{bot} =	0,2353	m/det	
KR =	0,0002		
Re =	1,93E+05		
f =	0,01700	(Gambar II.9)	
τ_{bot} =	0,12057	pa	
τ_{cr} =	0,12000	pa	

ZONA IV

Vo =	1,466	m/s	
d_{50} =	0,000124	m	
ρ =	1025	g/m³	
ν =	8,50E-07	m²/det	
Yo =	1,00	m	
D =	0,150	m	
Yo/D =	6,667		
q' =	q_{bot}/q_o =	0,23	(Gambar.II.8)
qo =	yo x vo =	1,46567	m²/det
q_{bot} =	0,3371	m²/det	
d_{est} =	**1,3777**	**m**	
V_{bot} =	0,2447	m/det	
KR =	0,0001		
Re =	3,97E+05		
f =	0,01500	(Gambar II.9)	
τ_{bot} =	0,11507	pa	
τ_{cr} =	0,11500	pa	

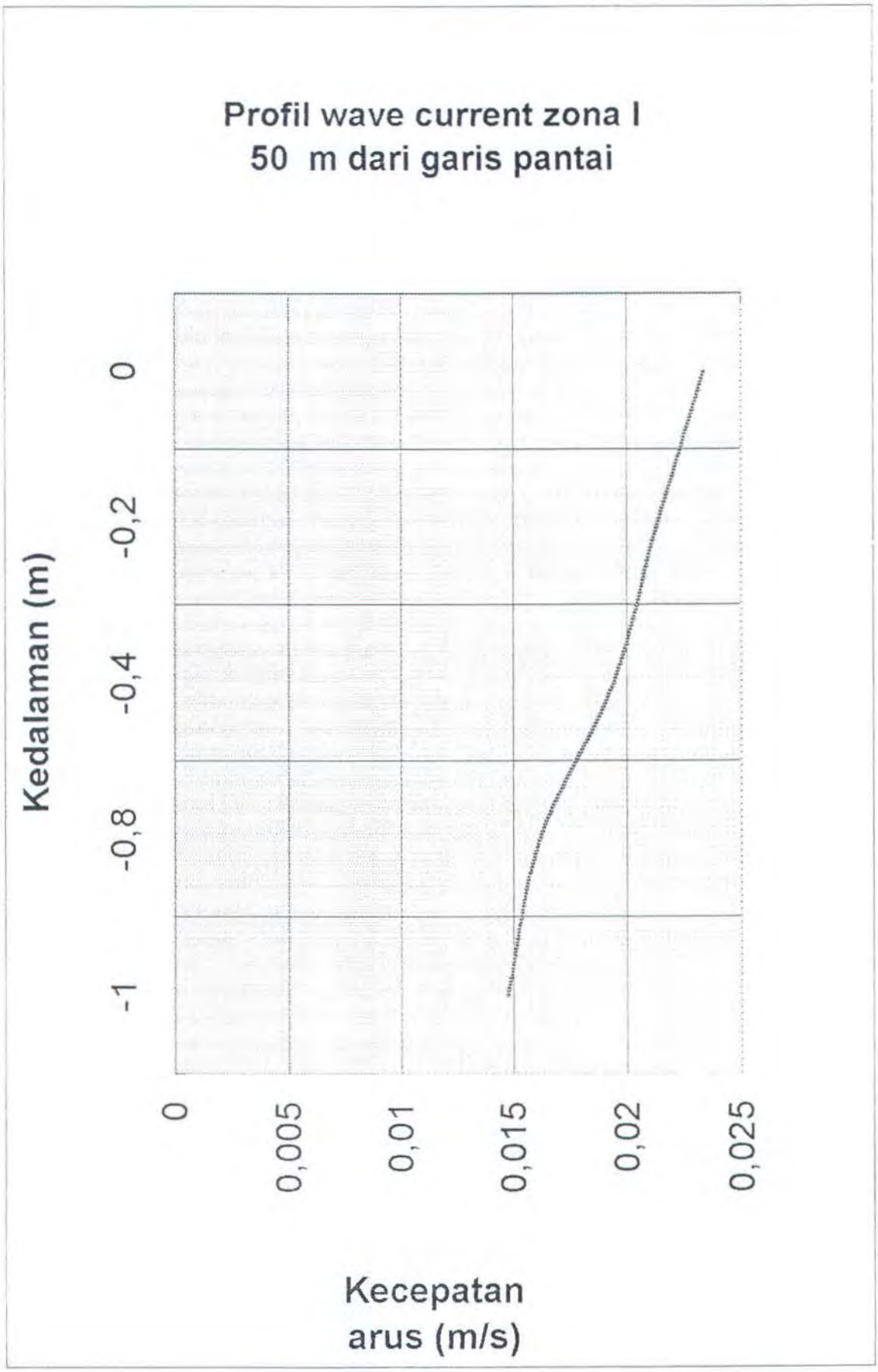
LAMPIRAN III

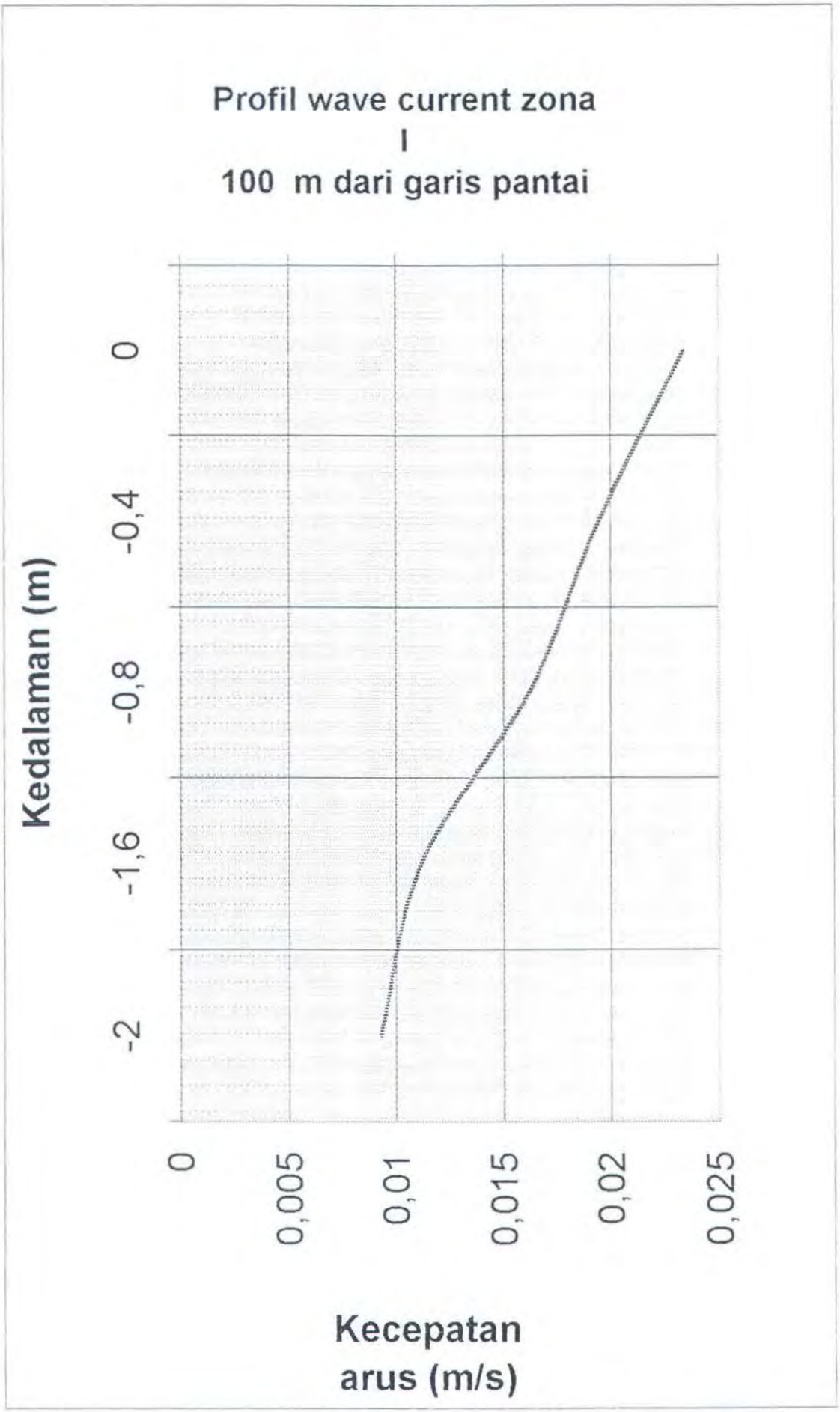
GRAFIK DAN GAMBAR PROFIL

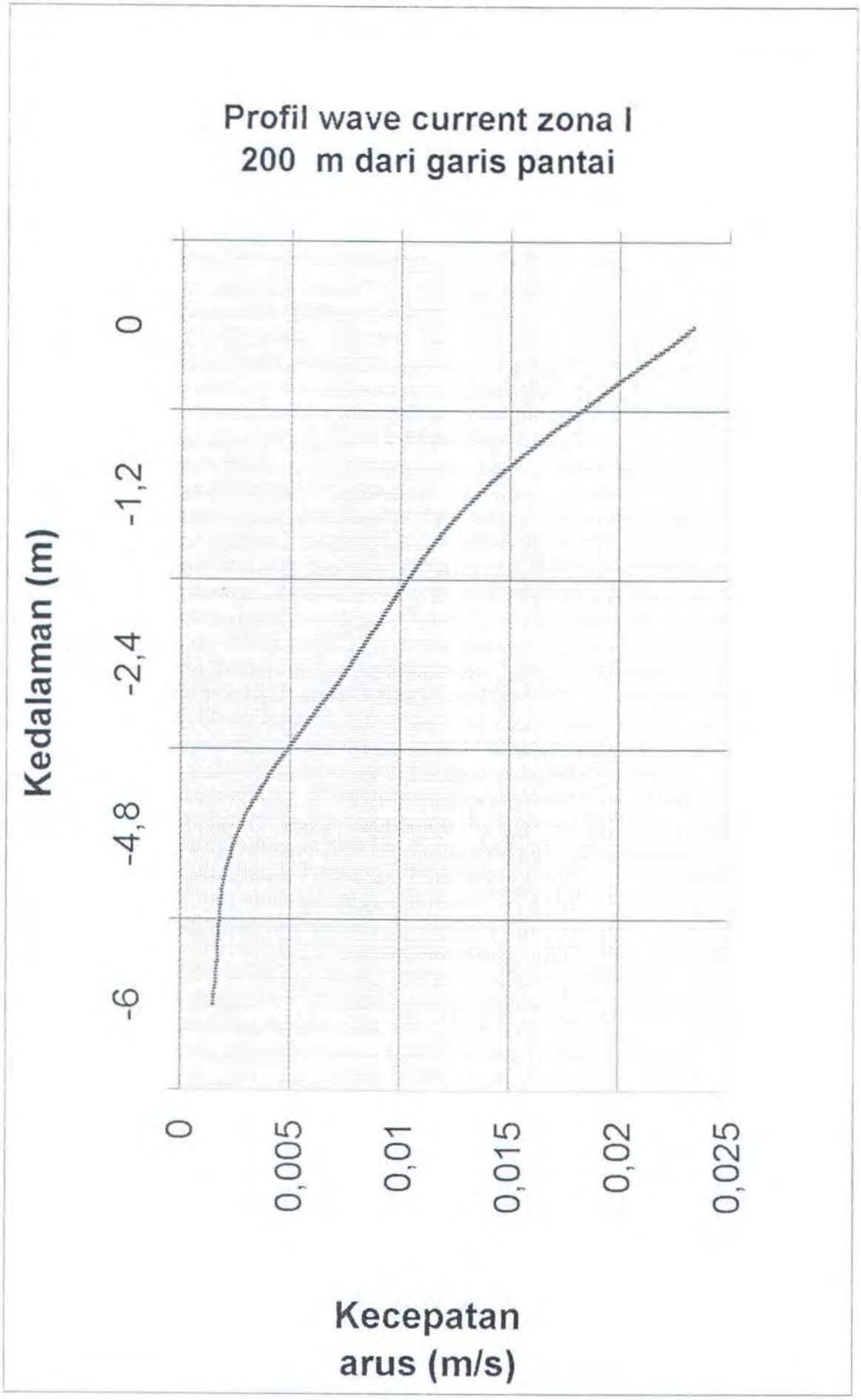
LAMPIRAN-III GRAFIK DAN GAMBAR PROFIL

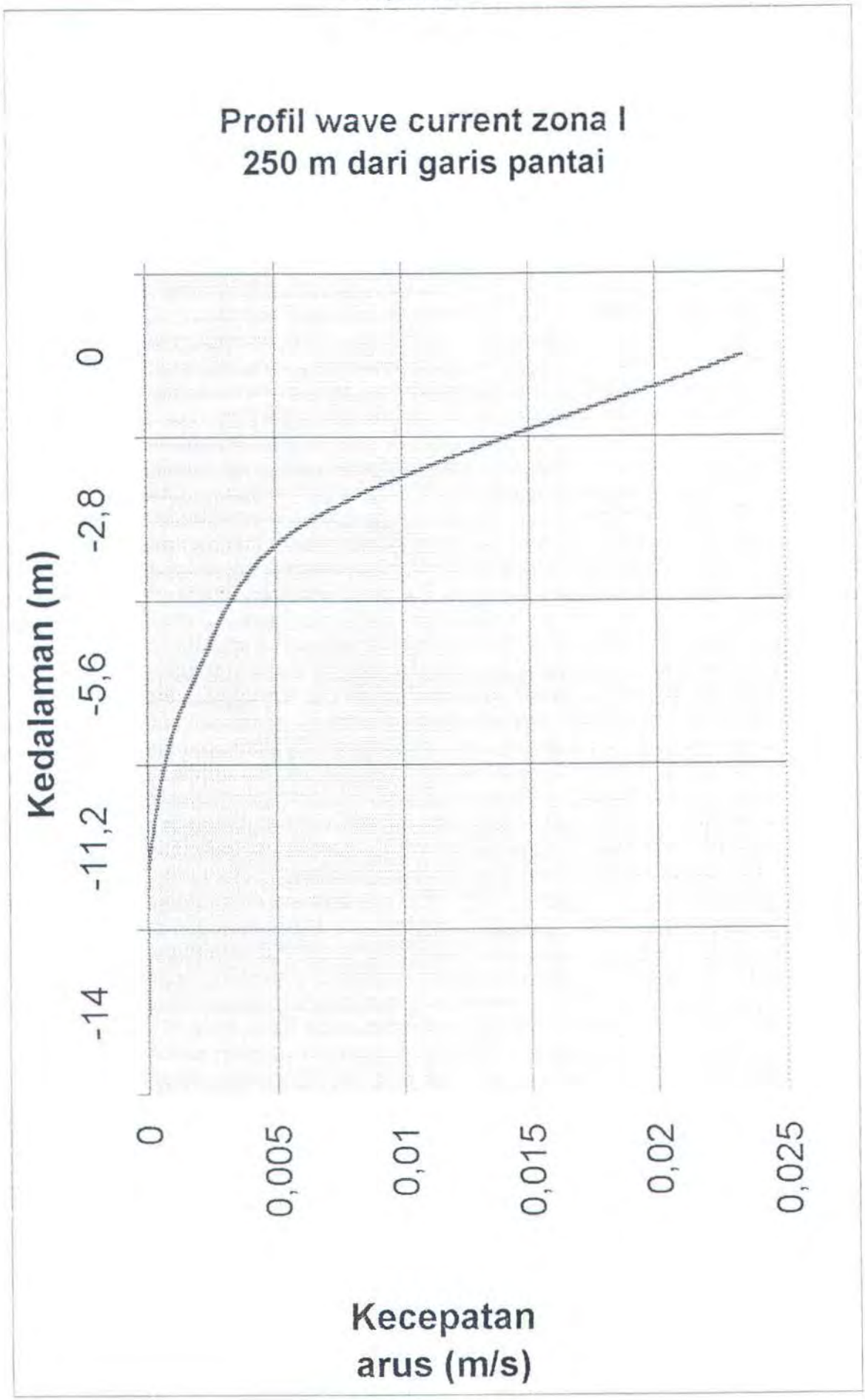
Lampiran III.1 Profil wave current

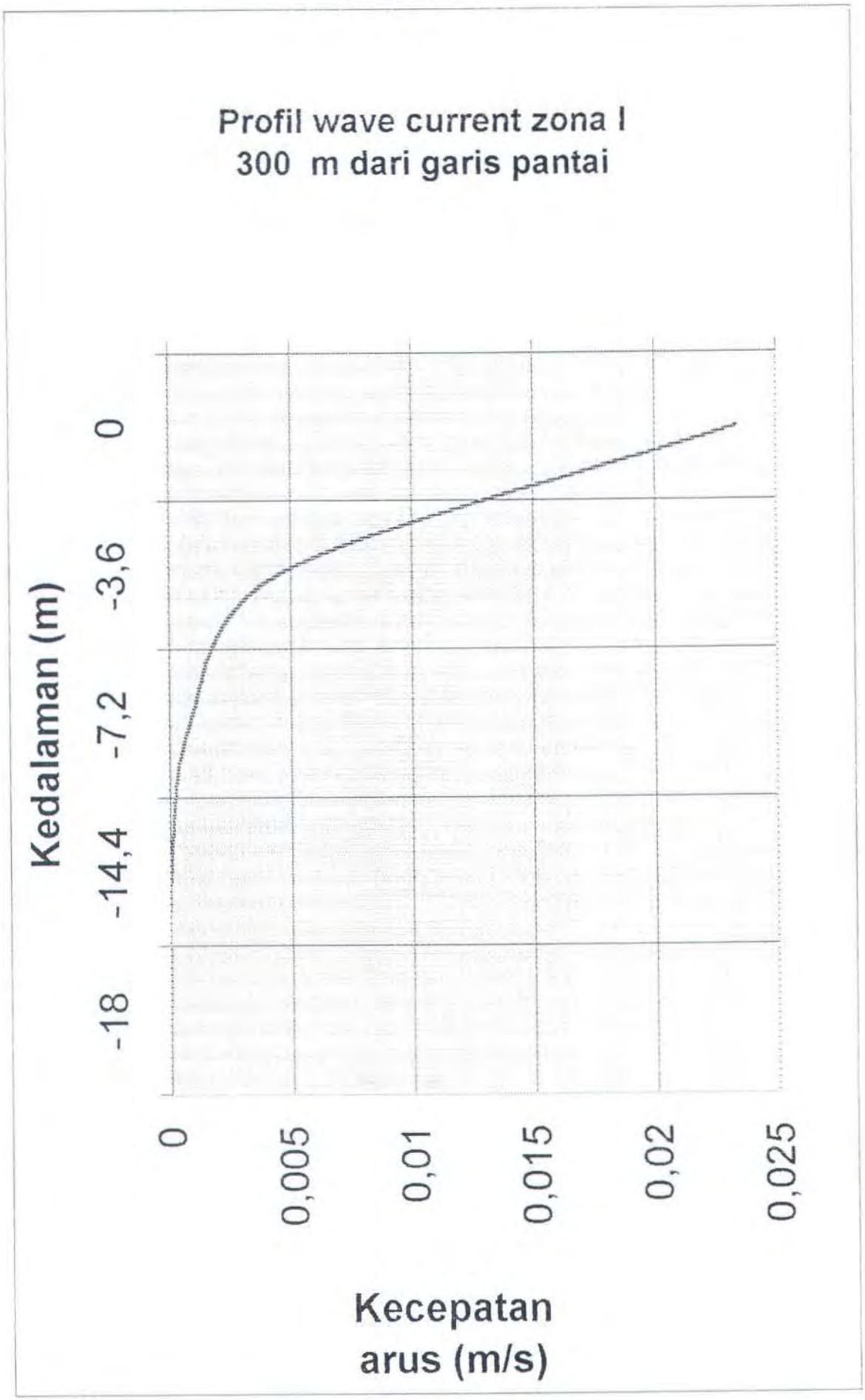
Lampiran III.2 Grafik arus pasut

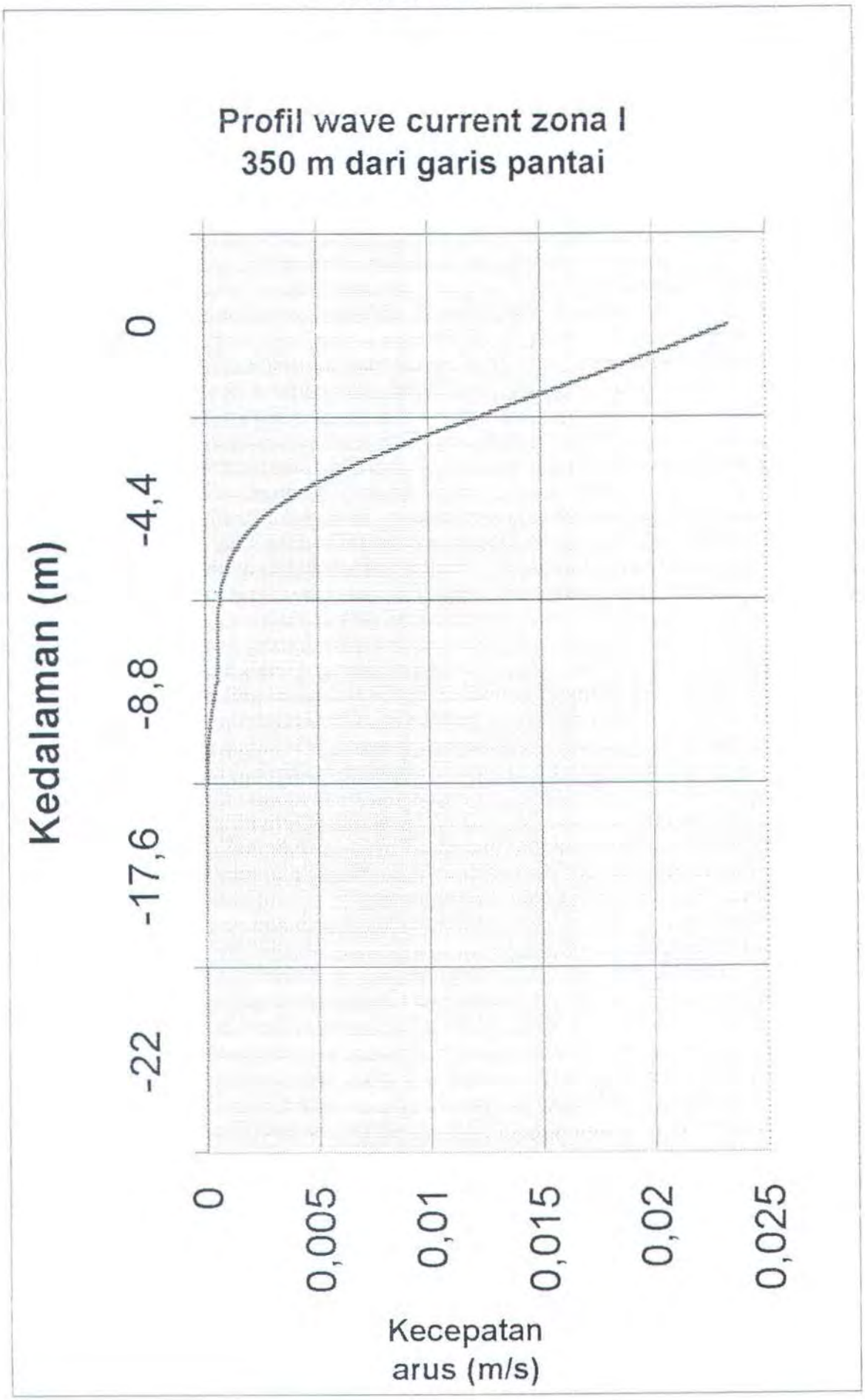

Profil wave current zona I
50 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-1
-0,8
-0,4
-0,2
0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

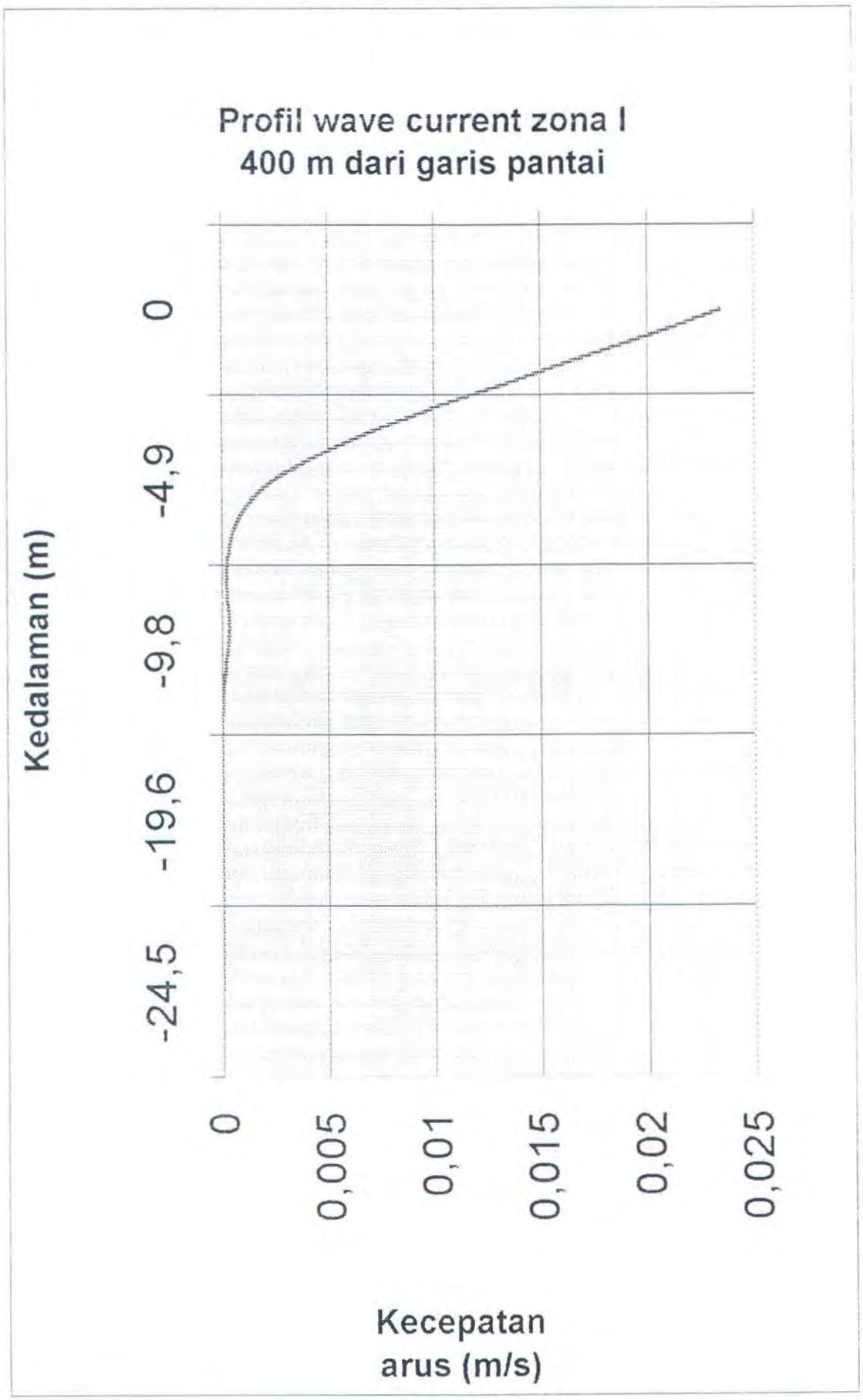

Profil wave current zona
I
100 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-0,4
-0,8
-1,6
-2
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current zona I
200 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-1,2
-2,4
-4,8
-6
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

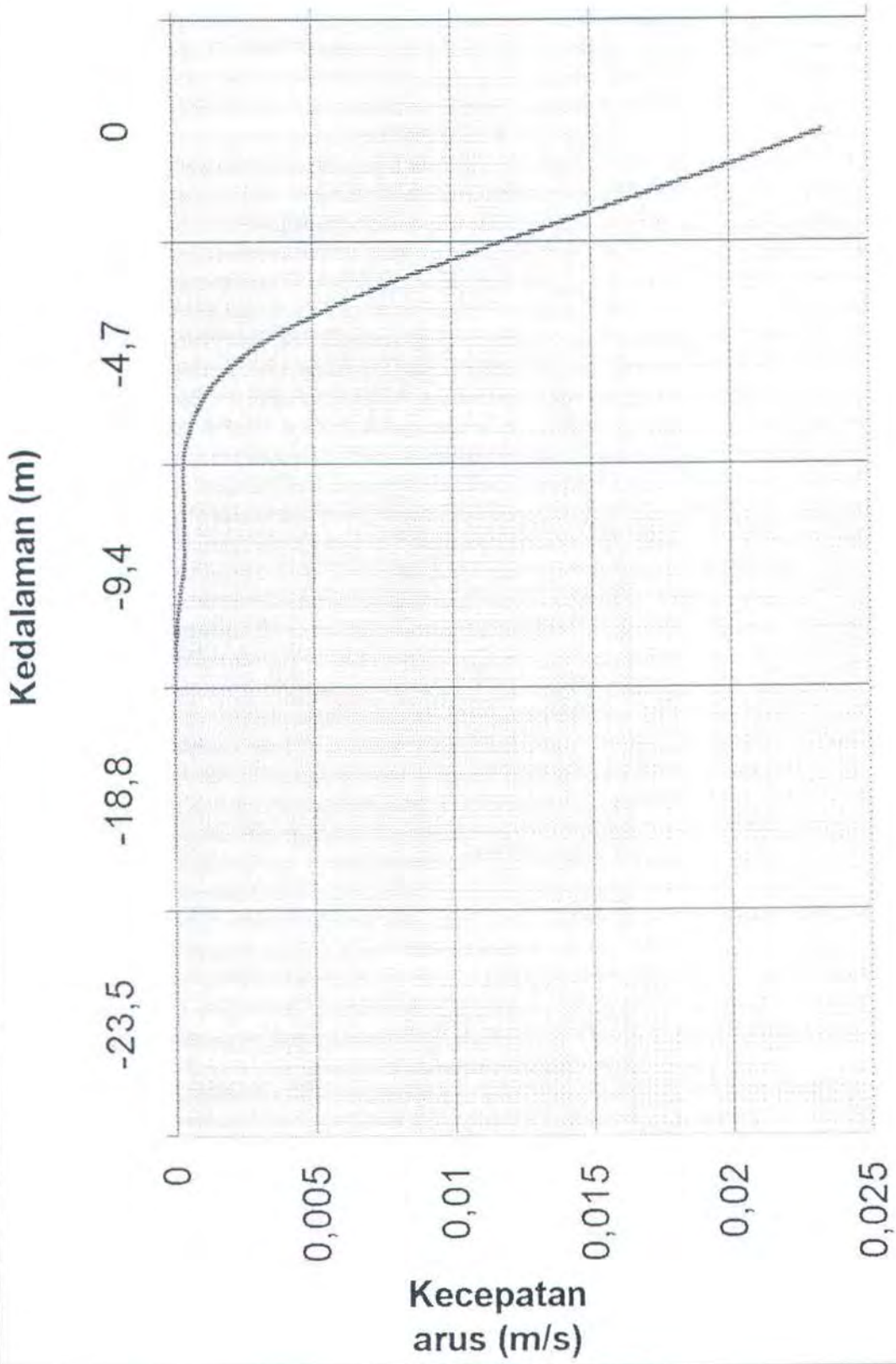

Profil wave current zona I
250 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-14
-11,2
-5,6
-2,8
0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

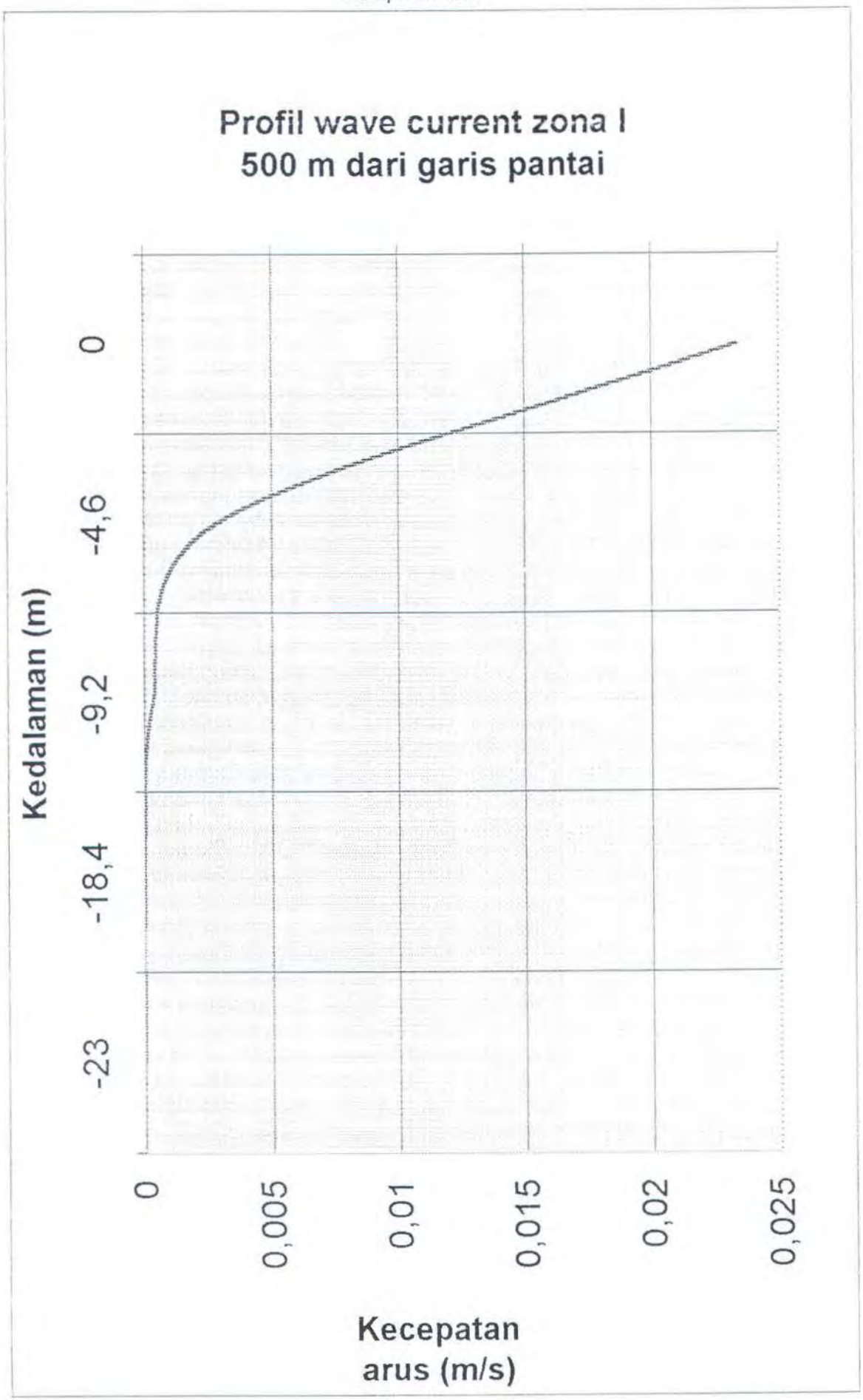

Profil wave current zona I
300 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-18
-14,4
-7,2
-3,6
0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

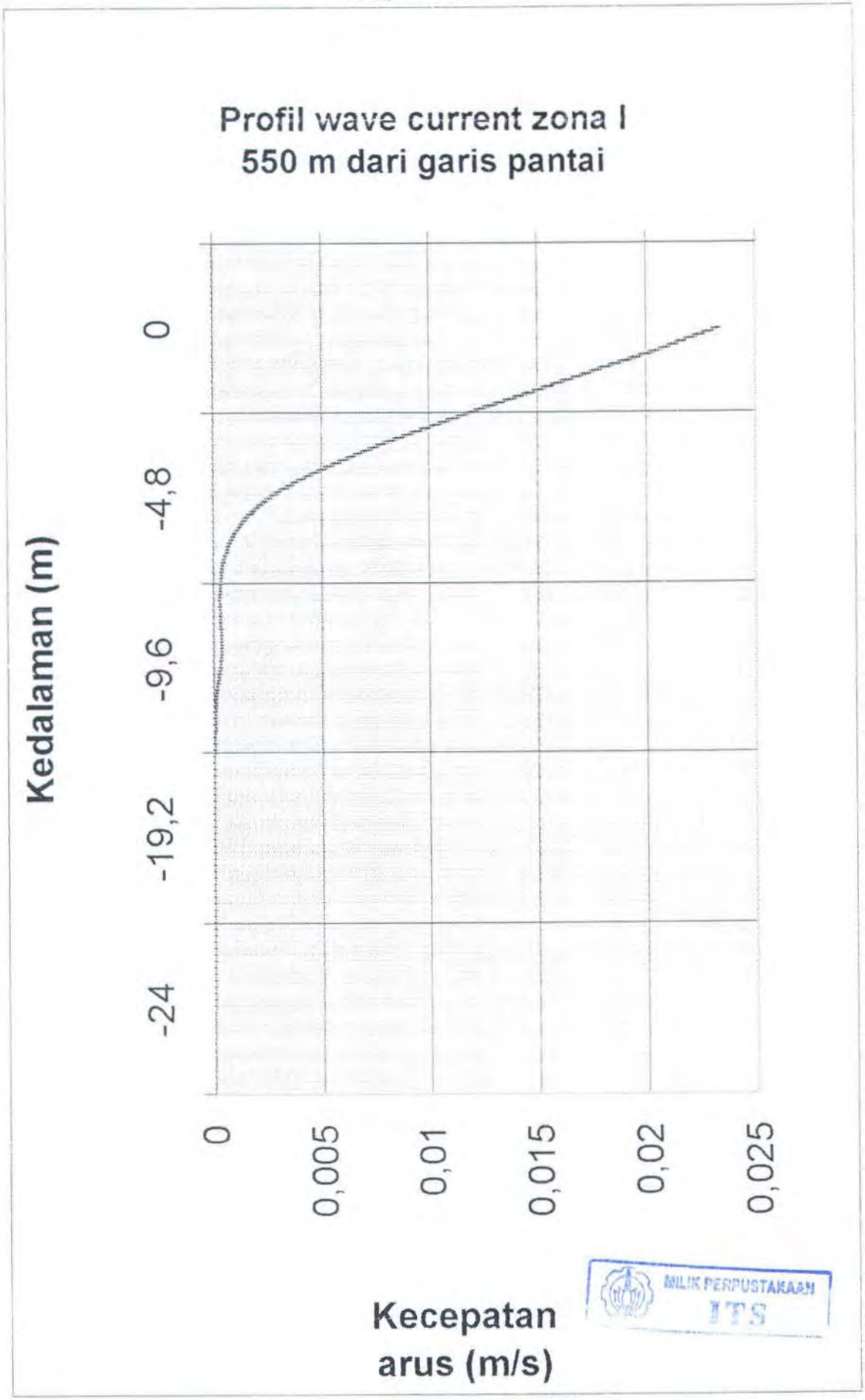

Profil wave current zona I
350 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-4,4
-8,8
-17,6
-22
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current zona I
400 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-24,5
-19,6
-9,8
-4,9
0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

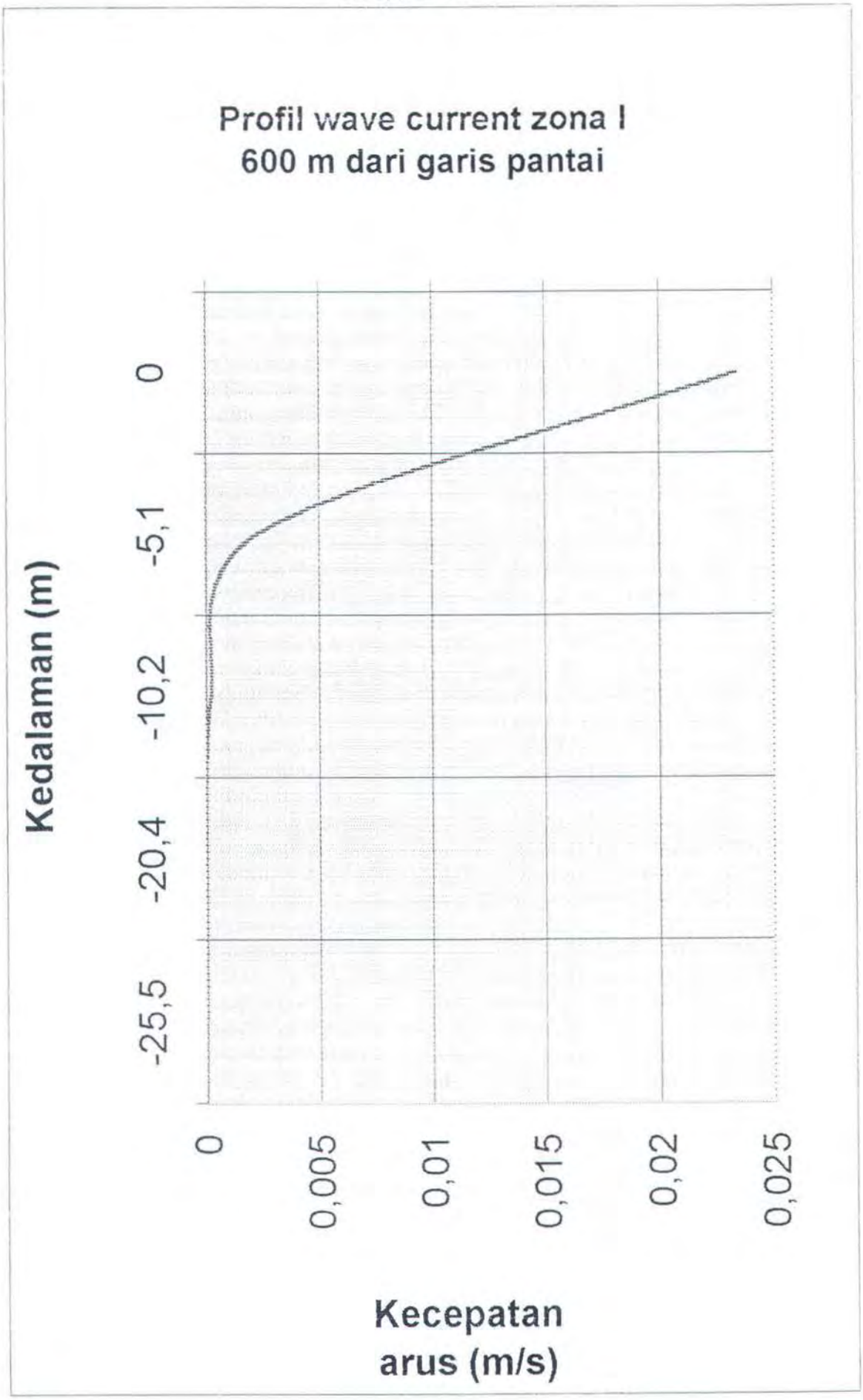
Profil wave current zona I
450 m dari garis pantai

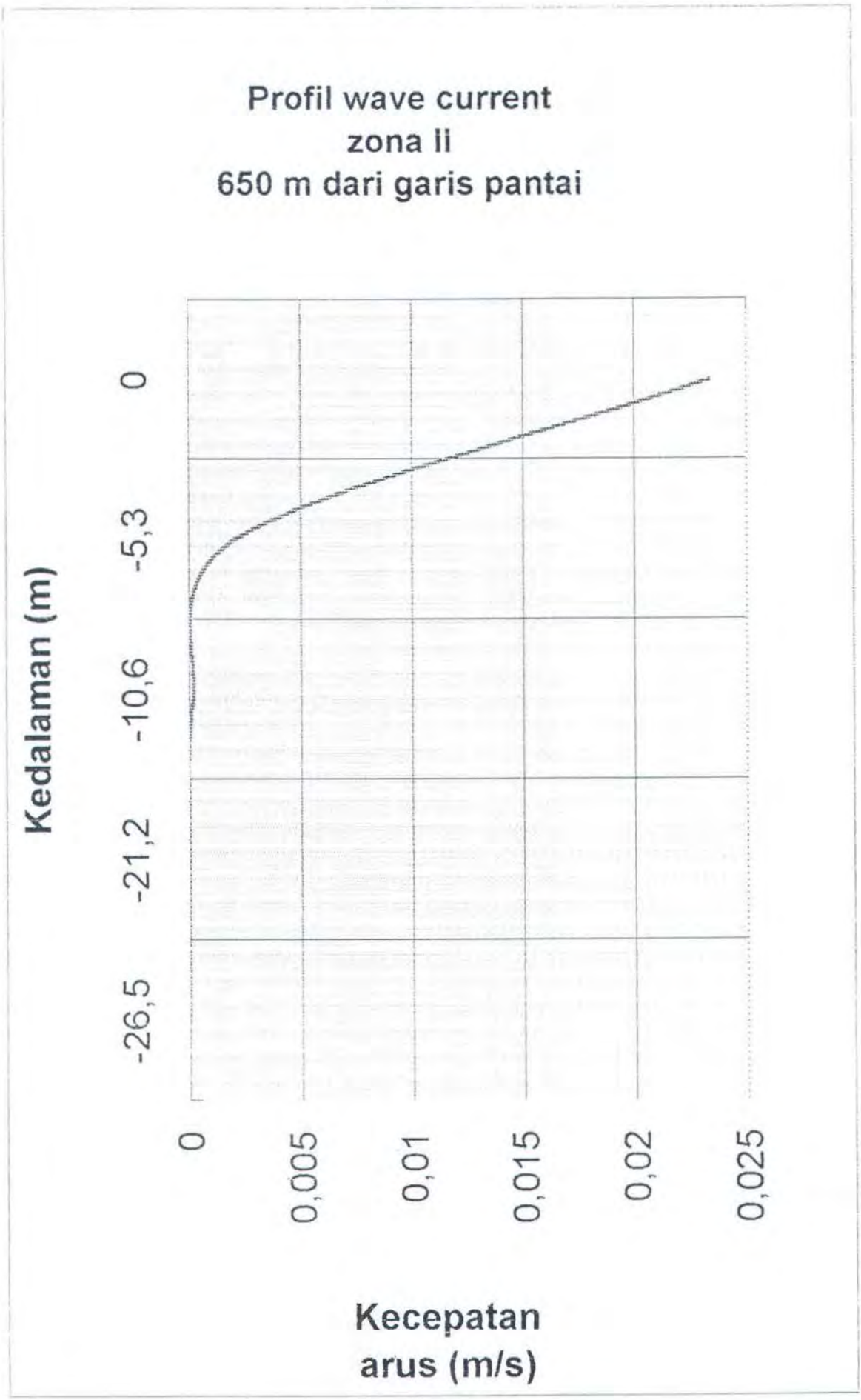


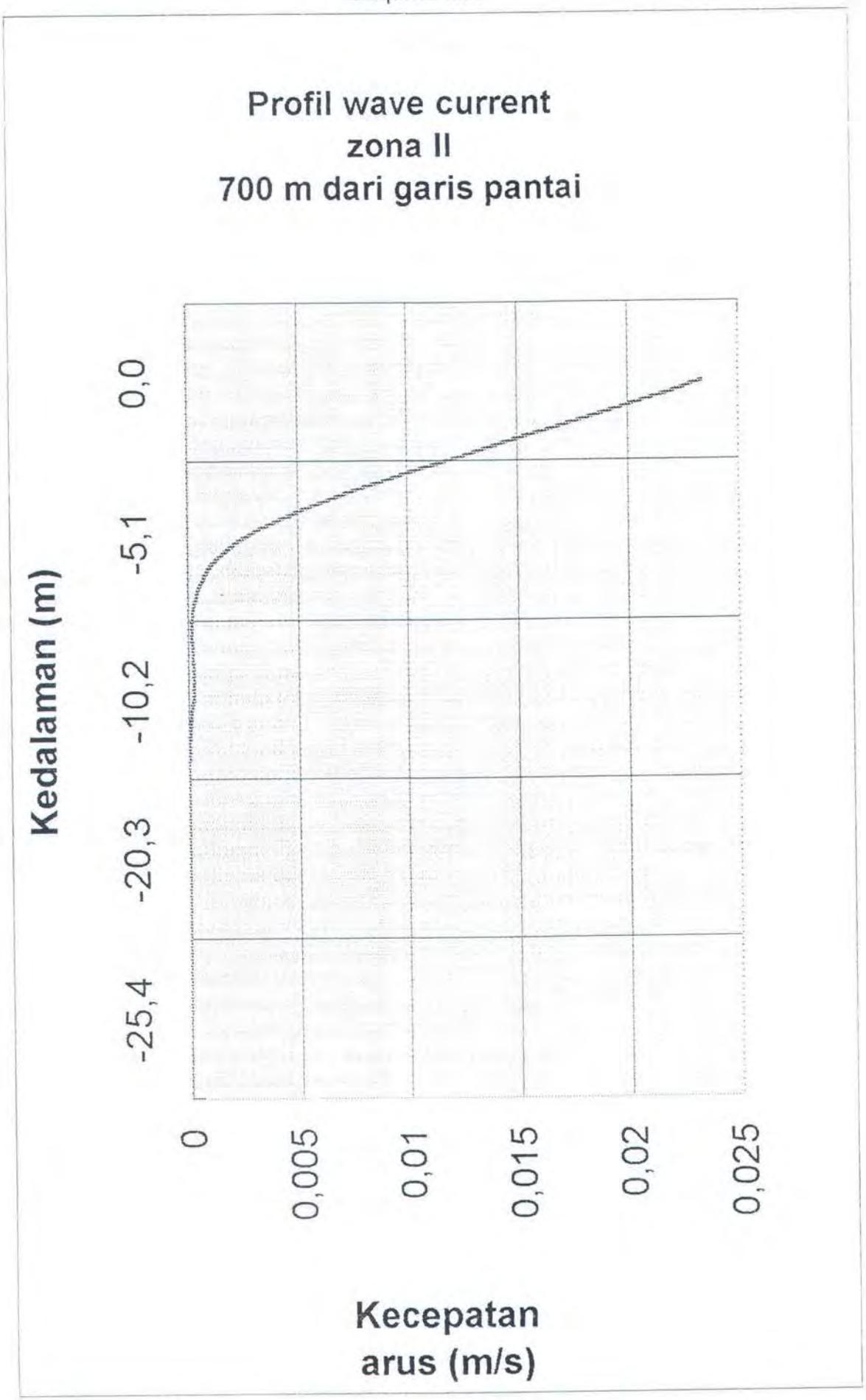

Profil wave current zona I
500 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-4,6
-9,2
-18,4
-23
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

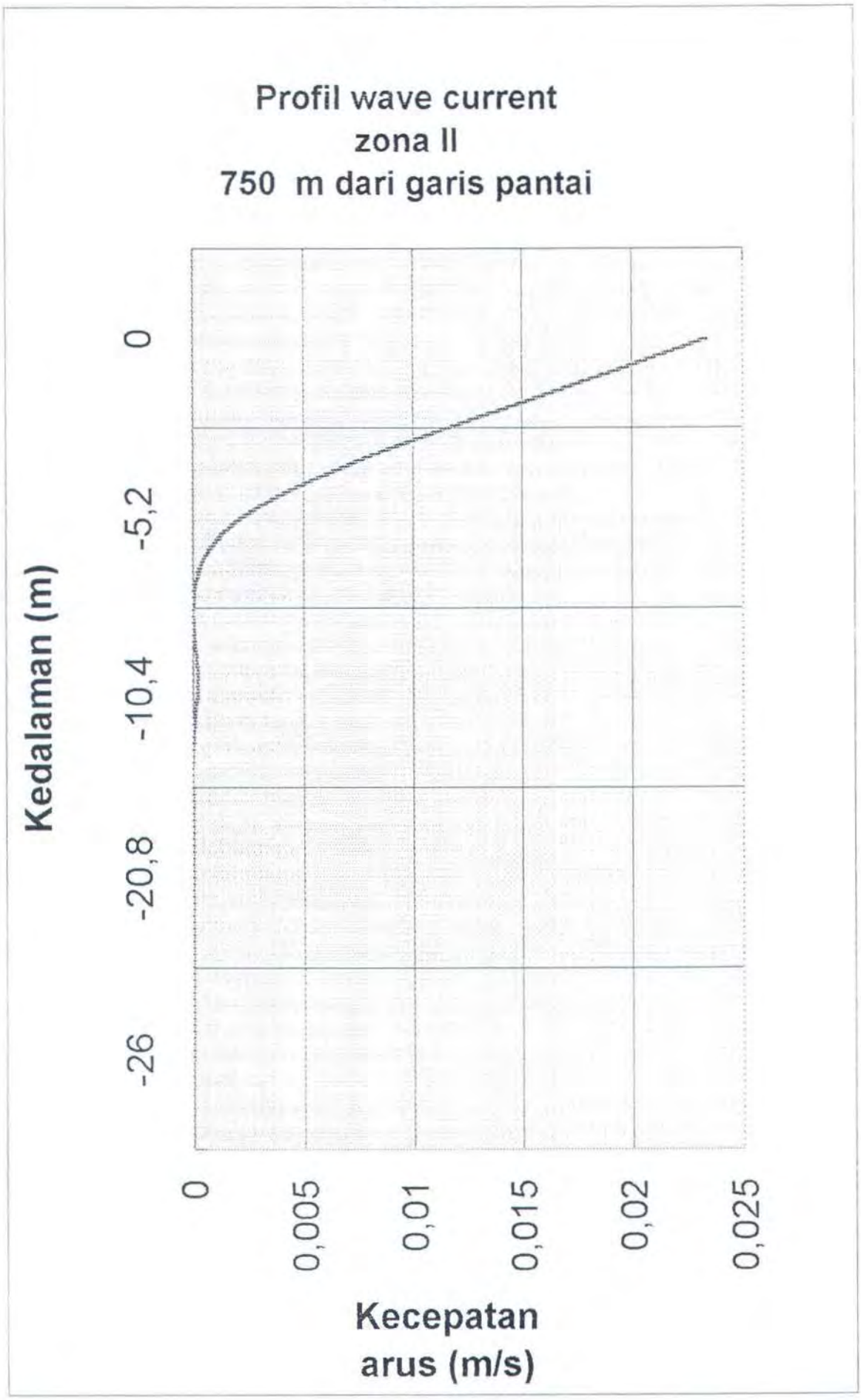


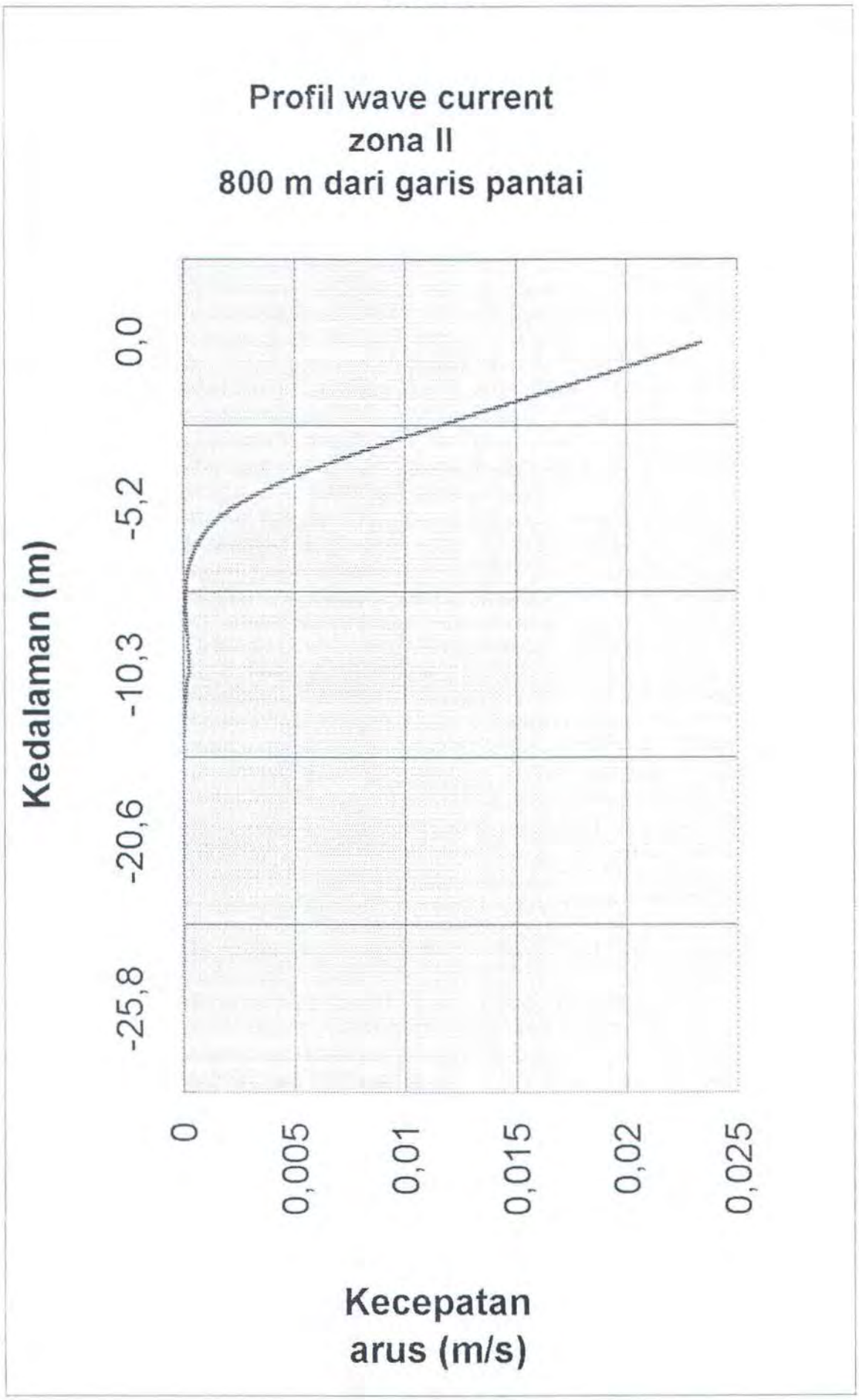
MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

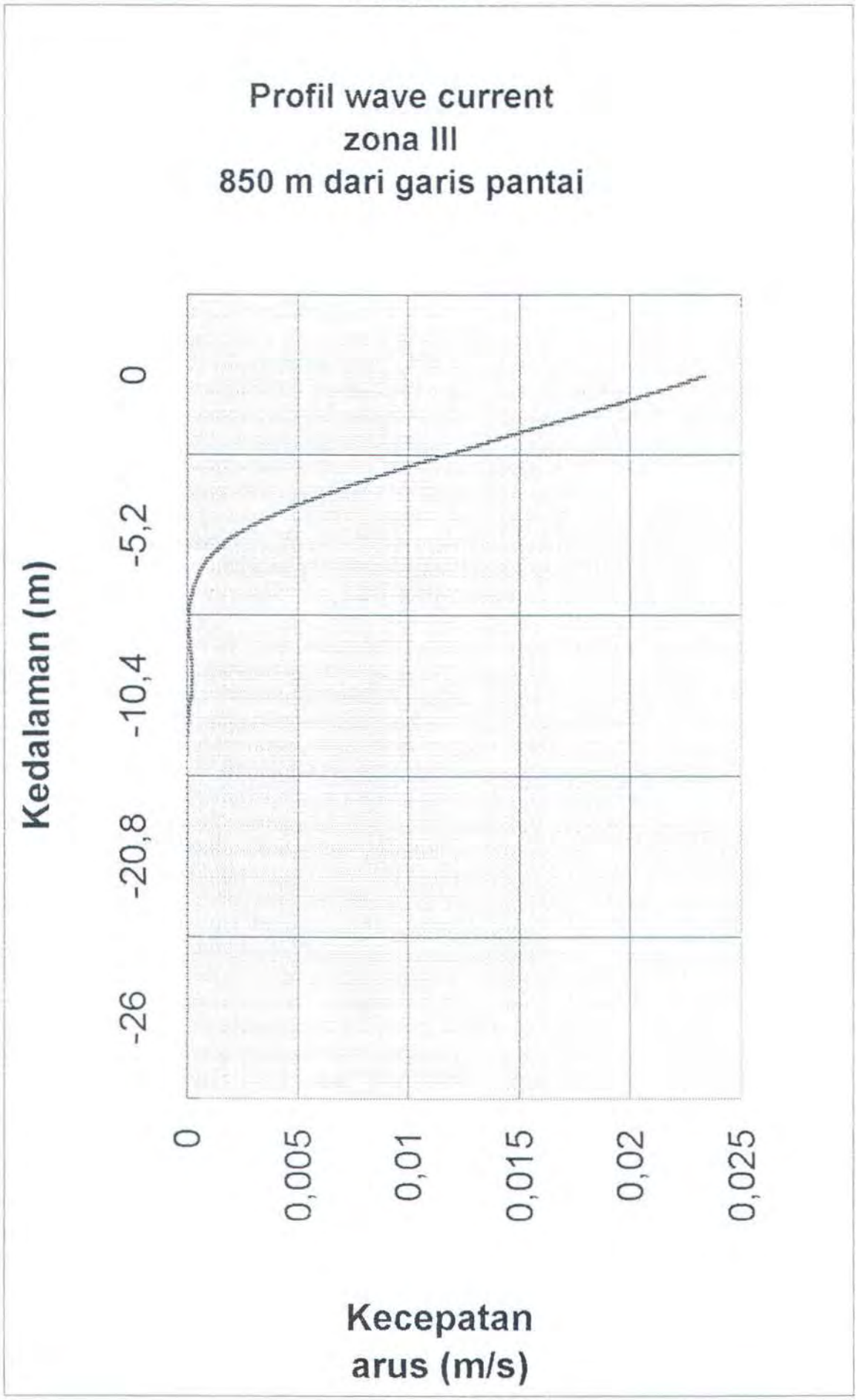

Profil wave current zona I
600 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-25,5
-20,4
-10,2
-5,1
0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

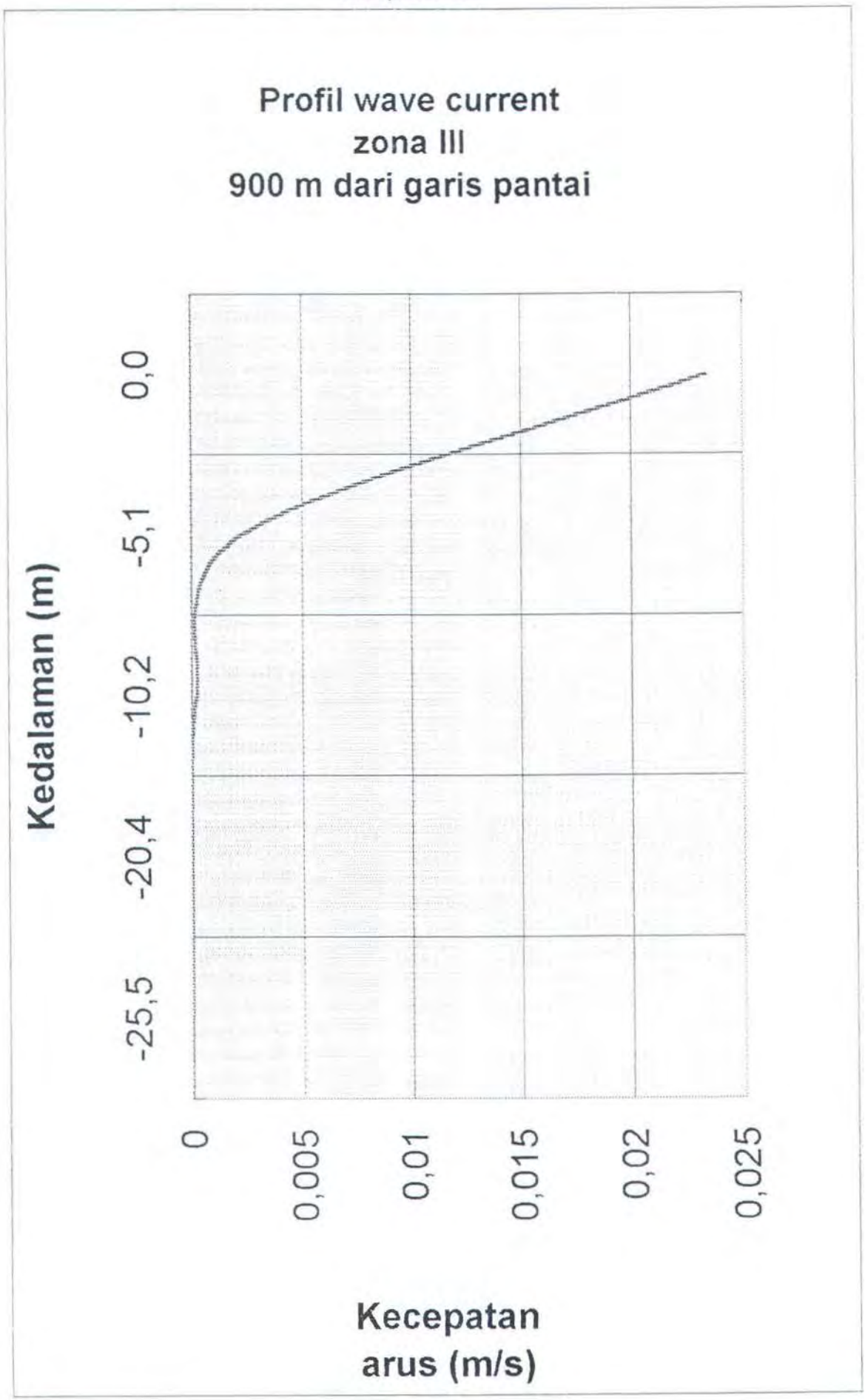

Profil wave current
zona II
650 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-5,3
-10,6
-21,2
-26,5
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

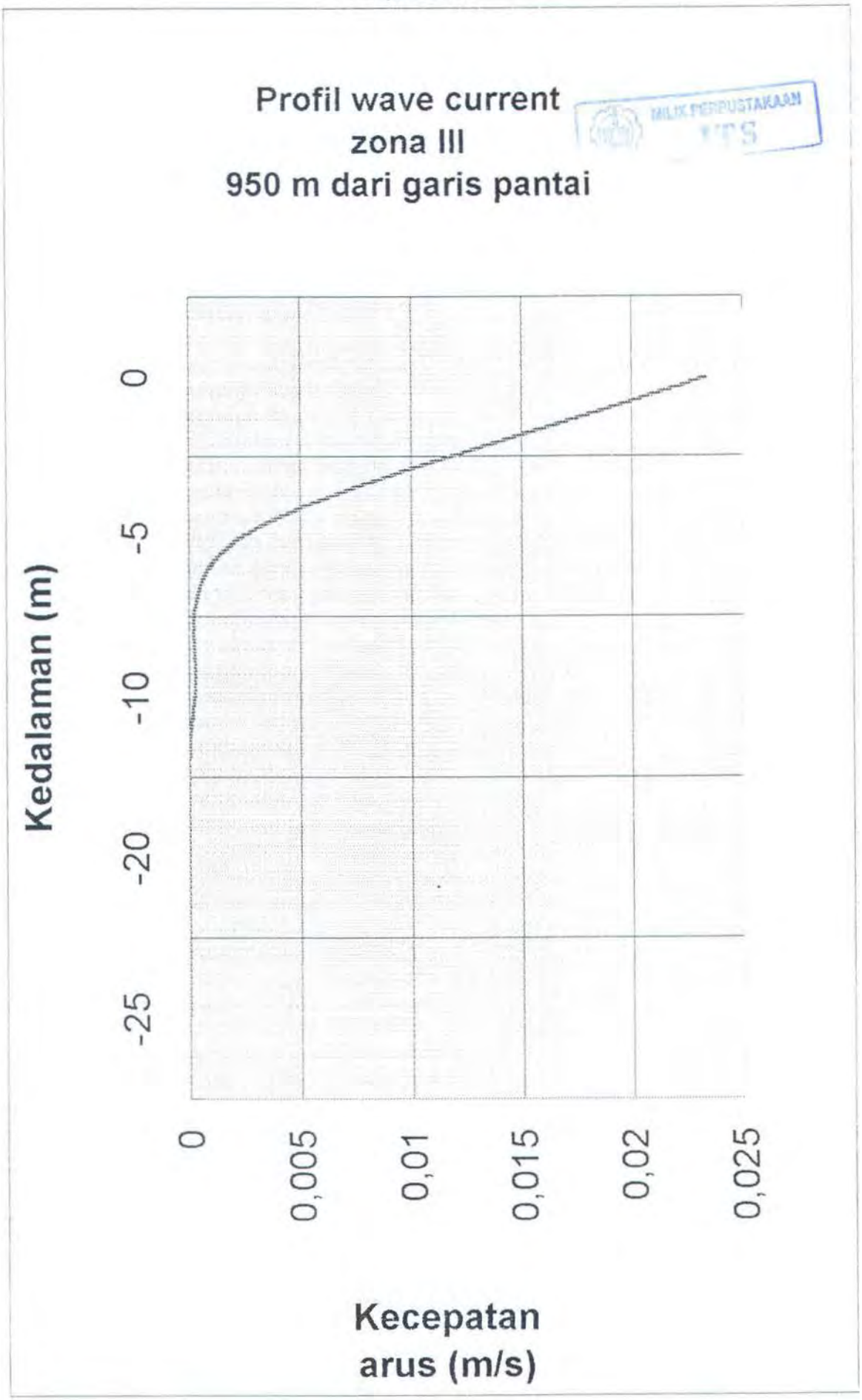

Profil wave current
zona II
700 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-25,4
-20,3
-10,2
-5,1
0,0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current
zona II
750 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-5,2
-10,4
-20,8
-26
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

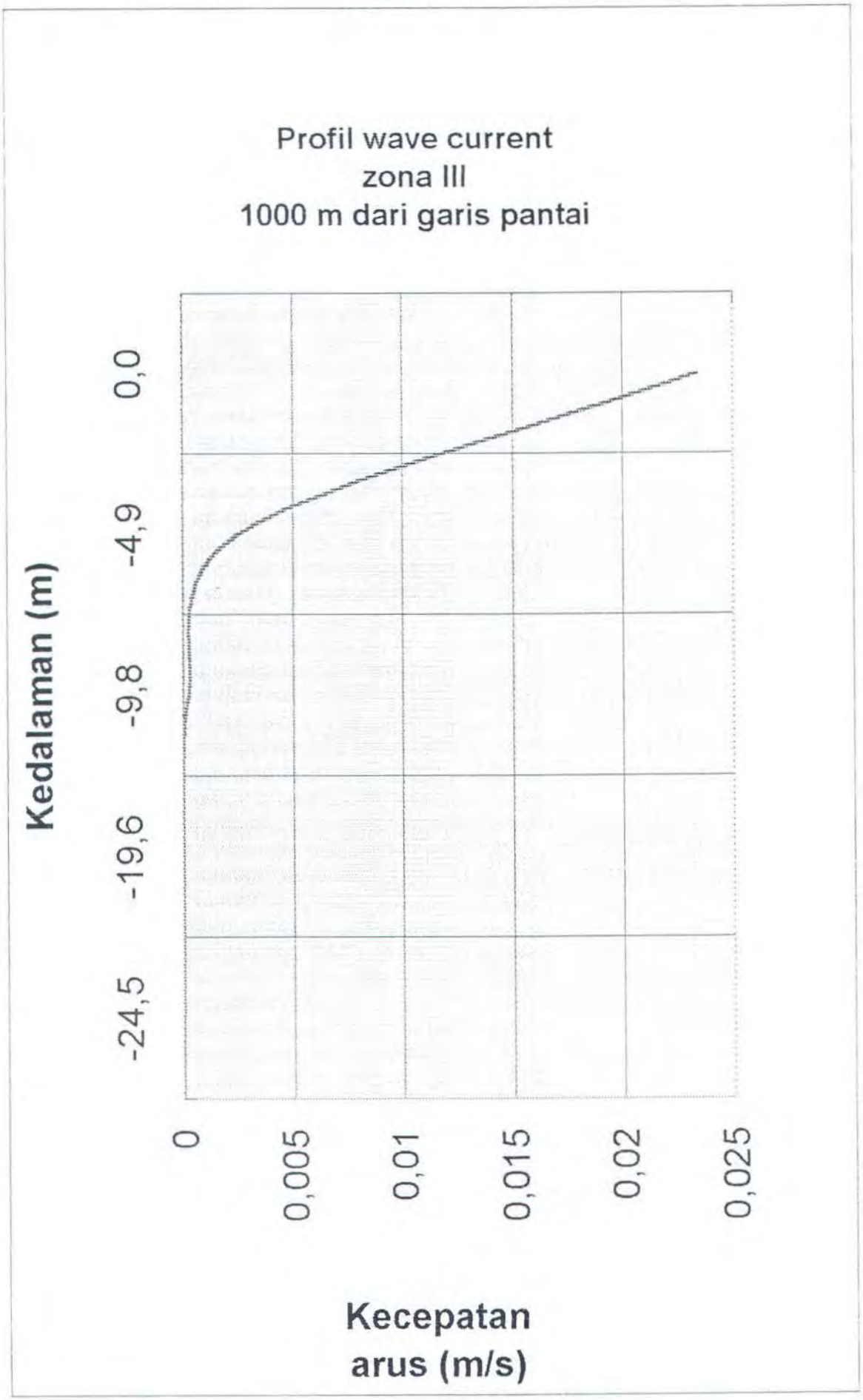

Profil wave current
zona II
800 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0,0
-5,2
-10,3
-20,6
-25,8
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current
zona III
850 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-5,2
-10,4
-20,8
-26
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

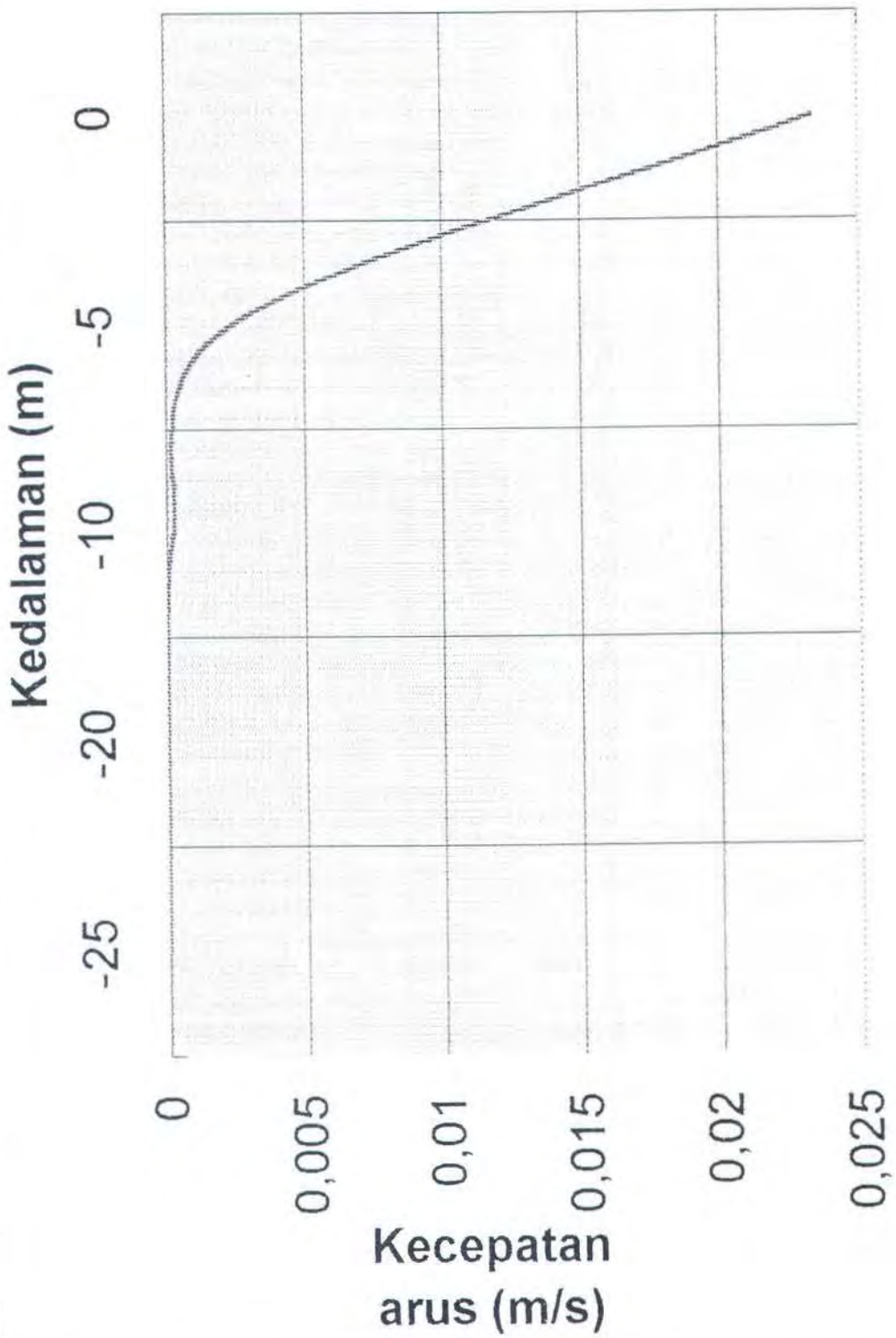

Profil wave current
zona III
900 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0,0
-5,1
-10,2
-20,4
-25,5
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

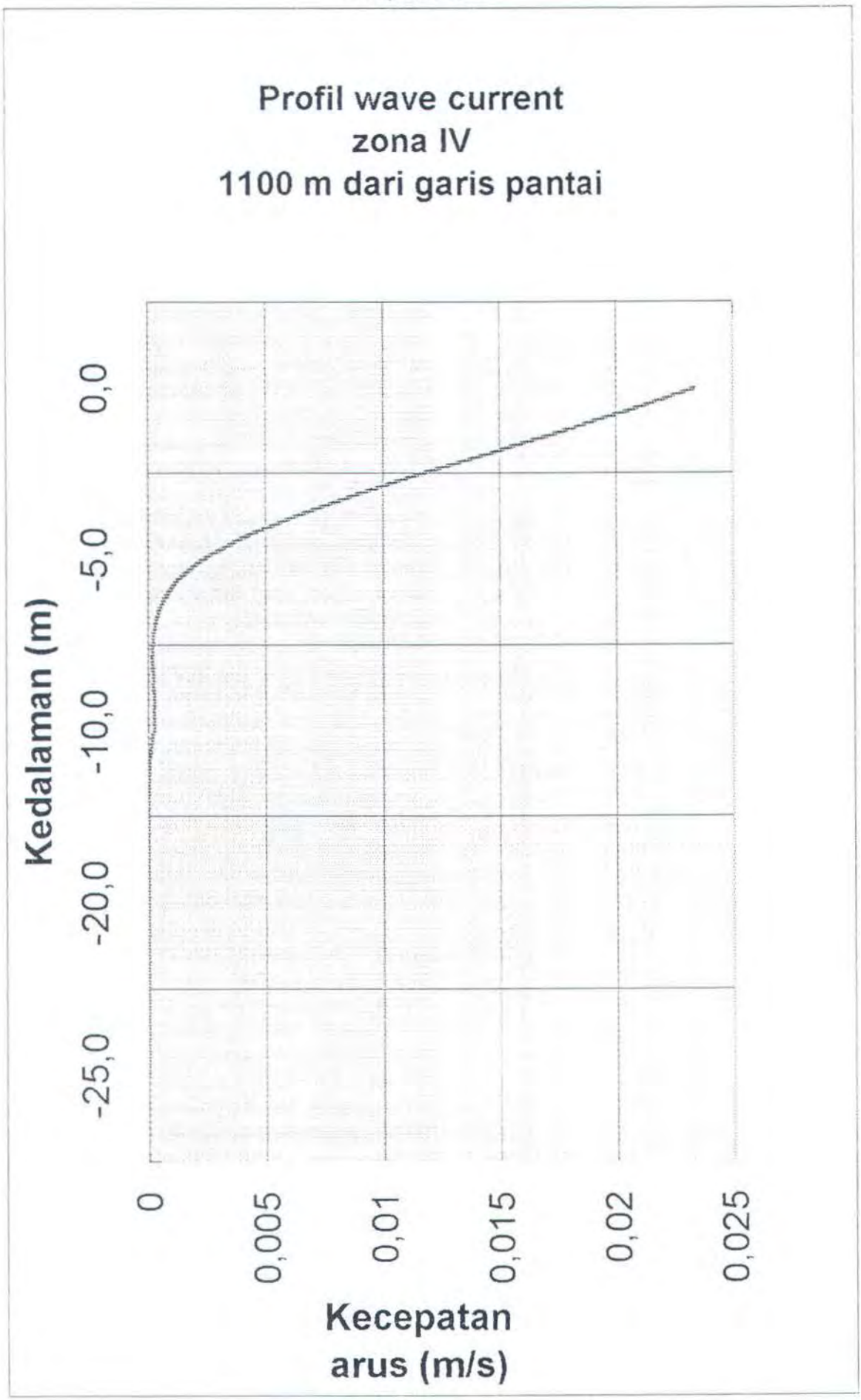


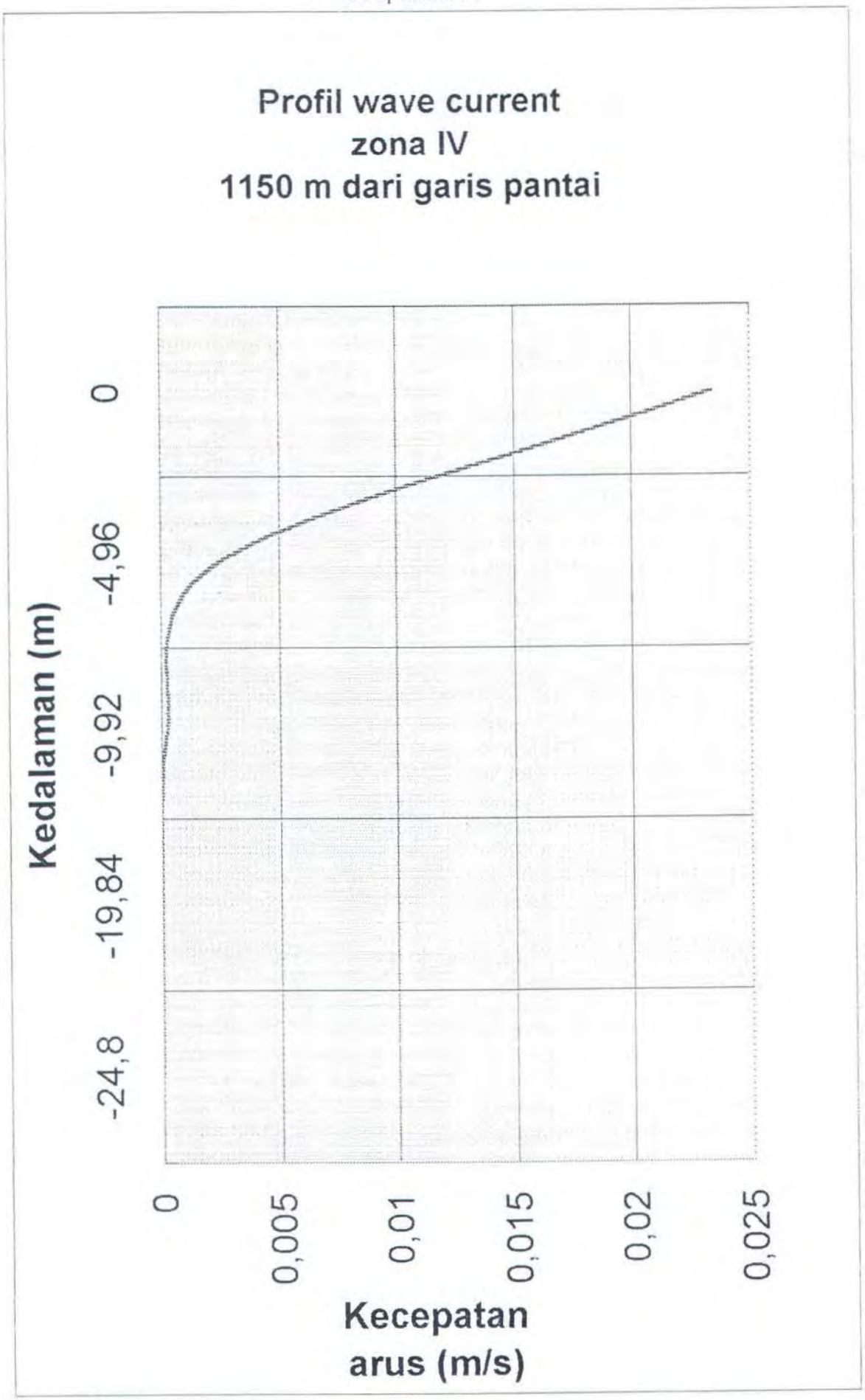
MILIK PERPUSTAKAAN ITS

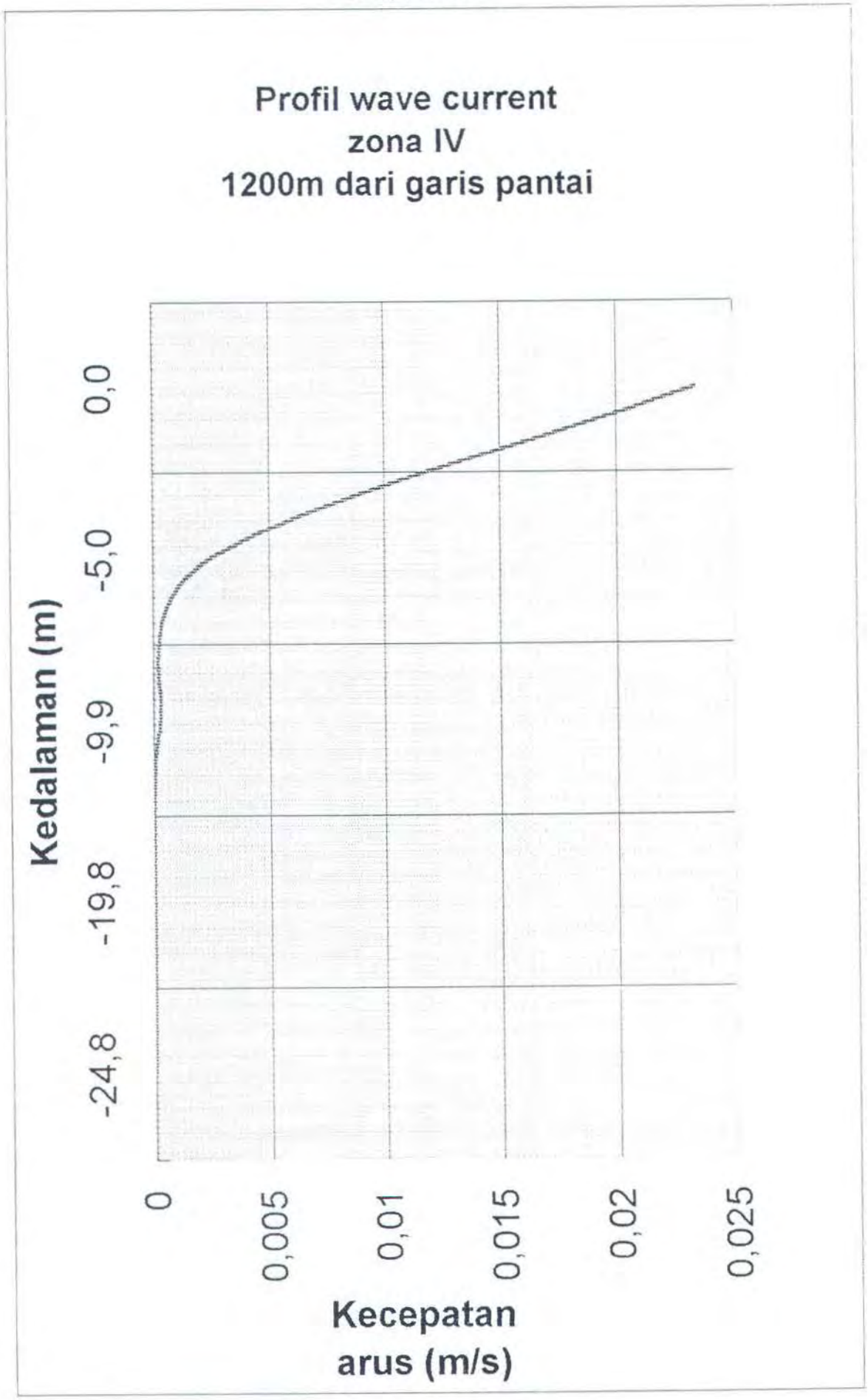

Profil wave current
zona III
1000 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0,0
-4,9
-9,8
-19,6
-24,5
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

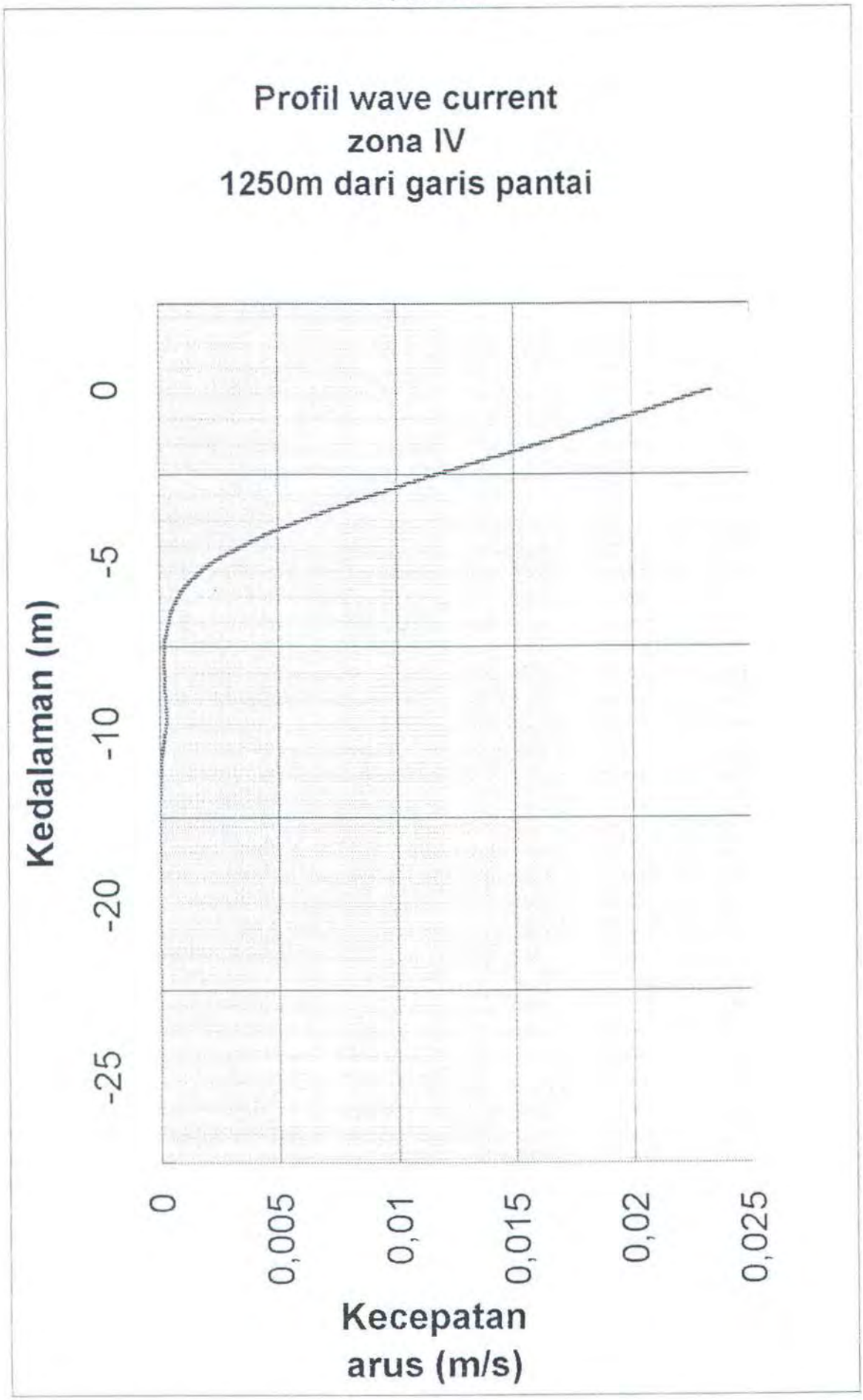
Profil wave current
zona IV
1050 m dari garis pantai

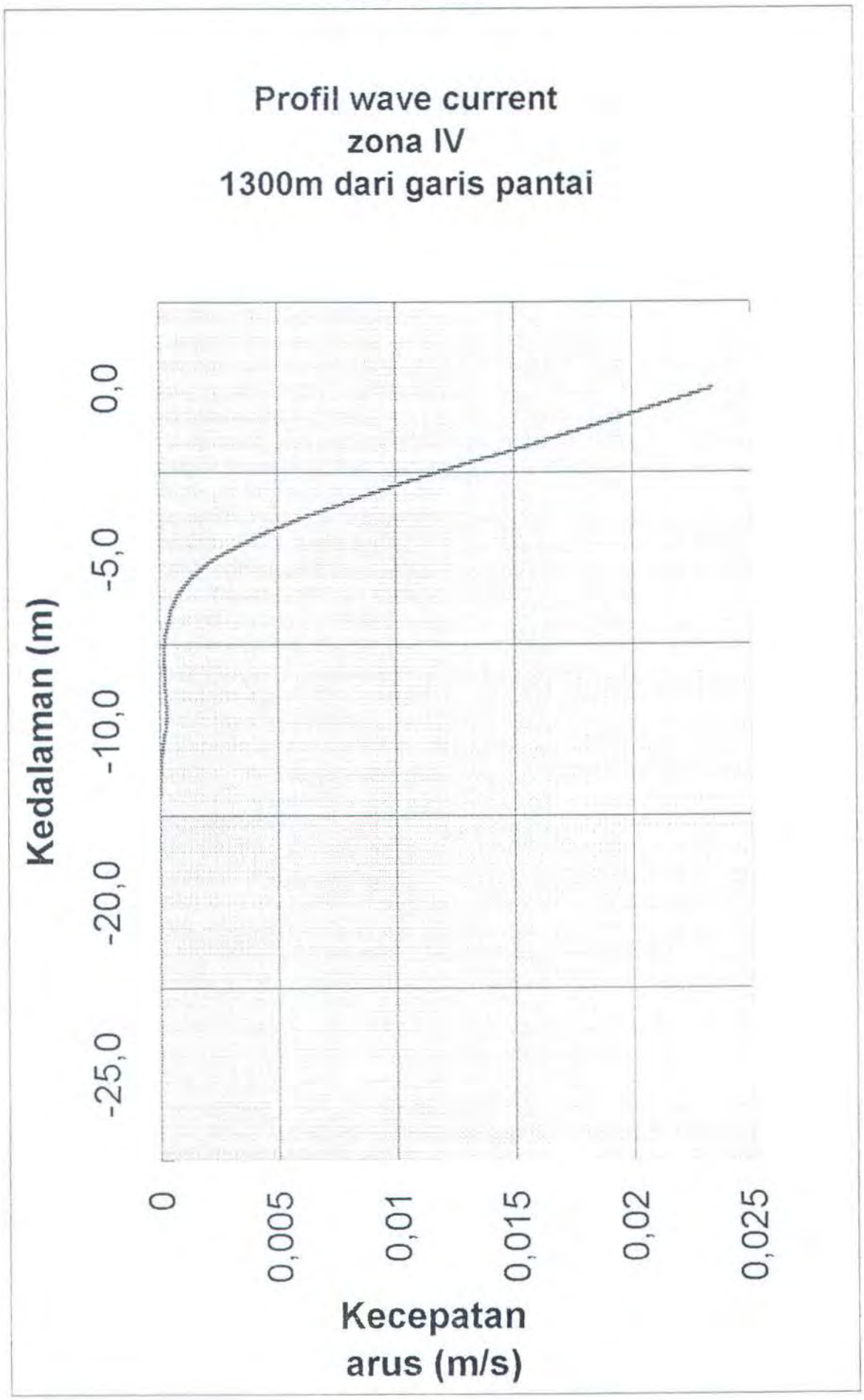


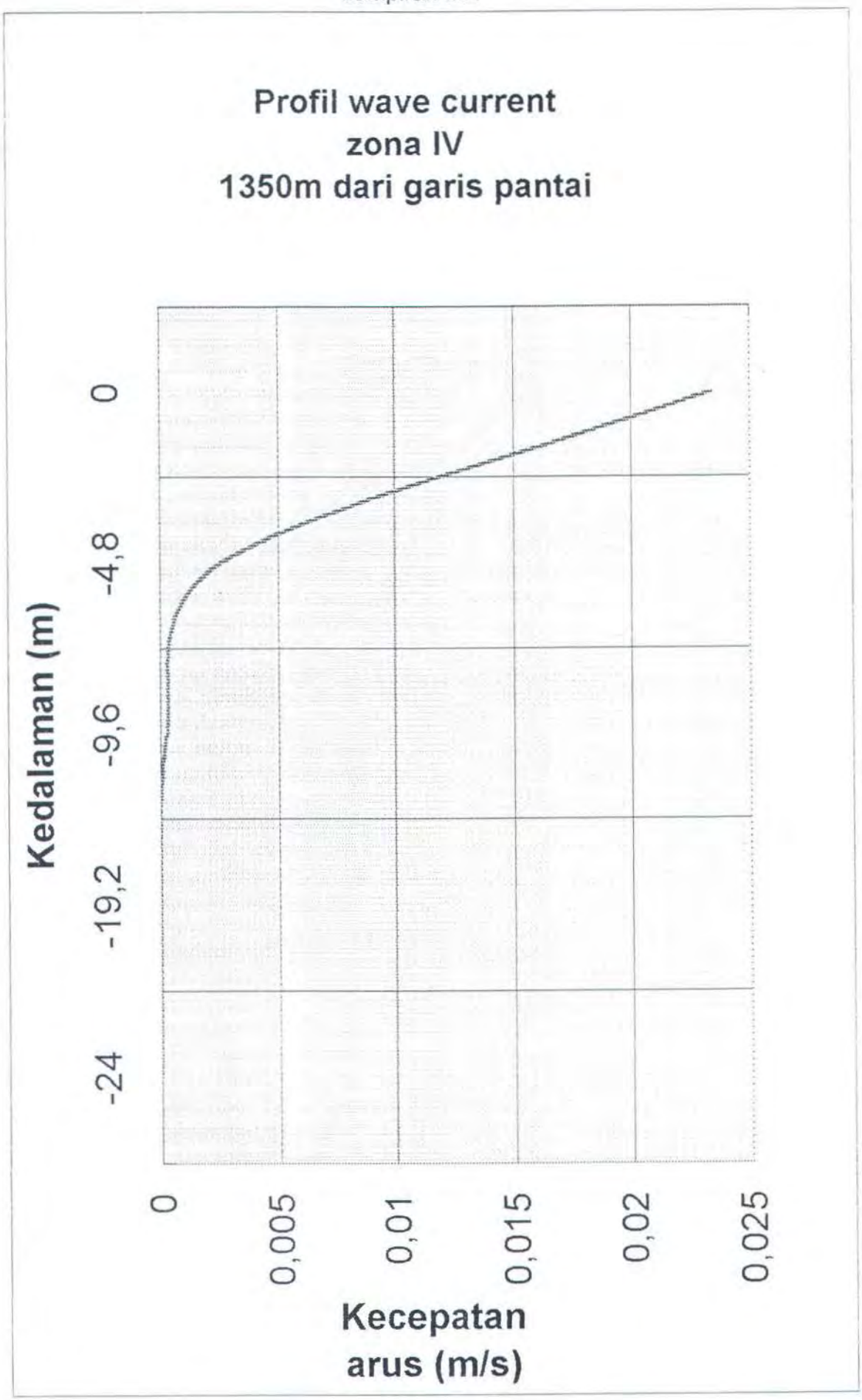

Profil wave current
zona IV
1100 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0,0
-5,0
-10,0
-20,0
-25,0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

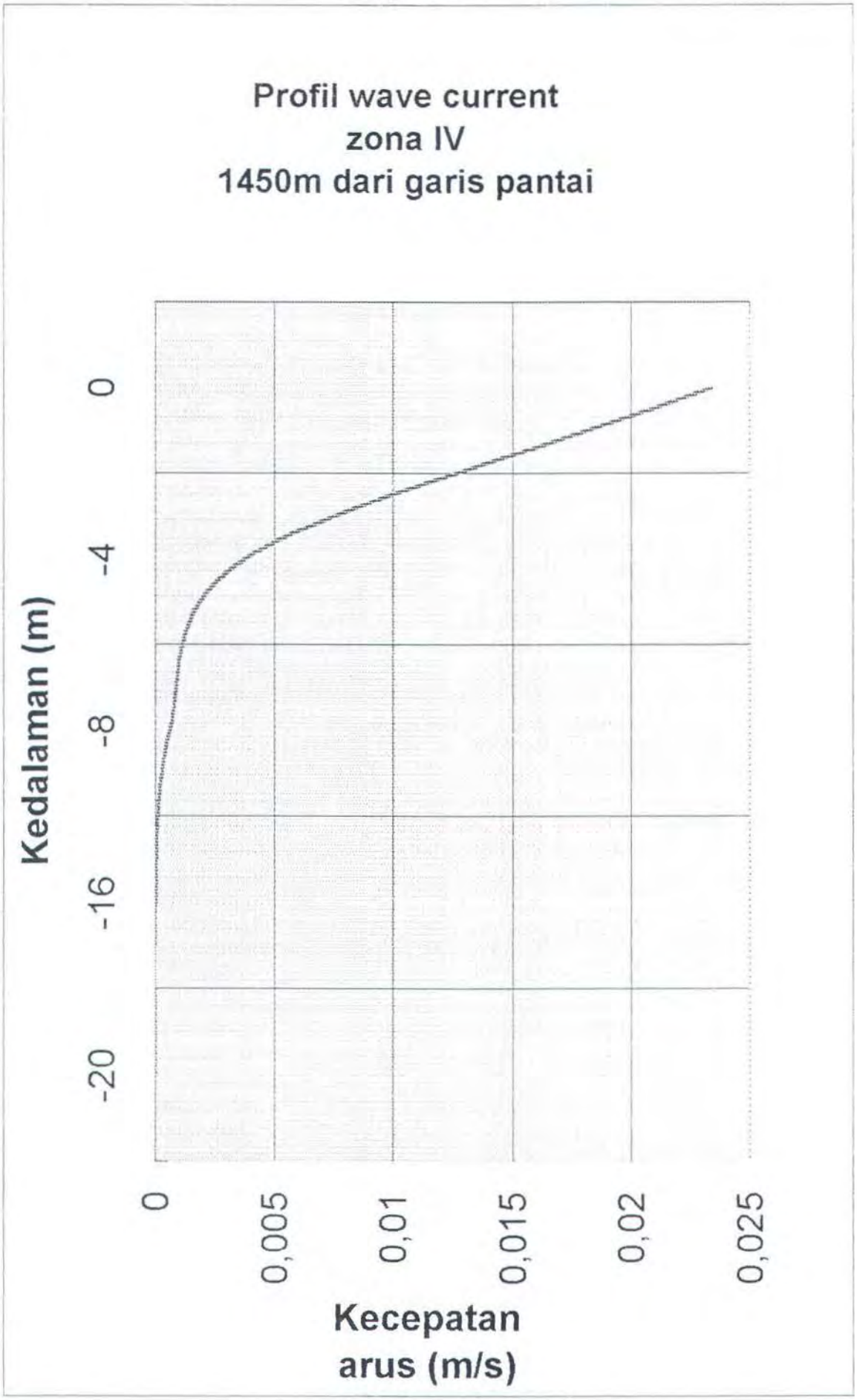

Profil wave current
zona IV
1150 m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-24,8
-19,84
-9,92
-4,96
0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current
zona IV
1200m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-24,8
-19,8
-9,9
-5,0
0,0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current
zona IV
1250m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-5
-10
-20
-25
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

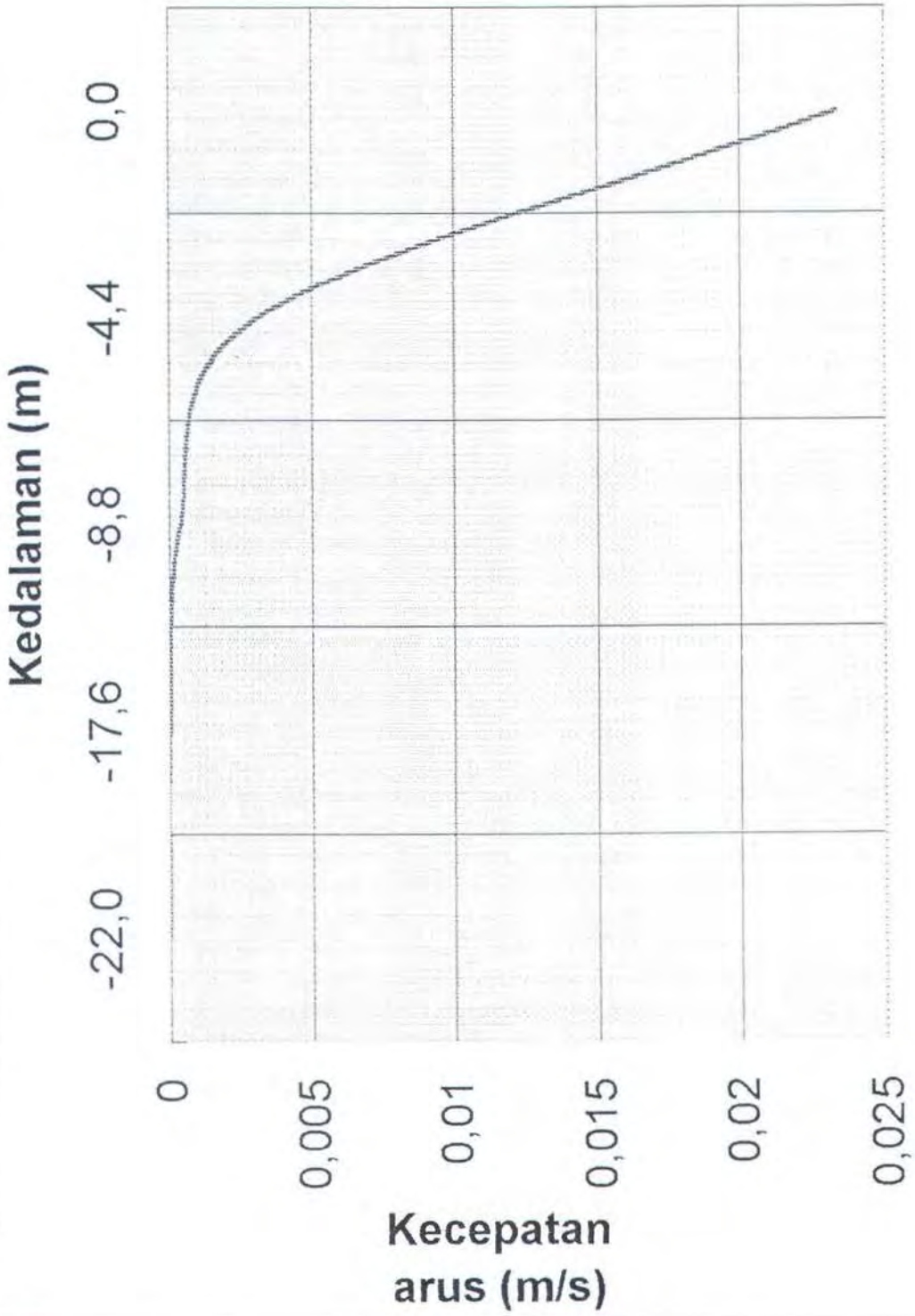

Profil wave current
zona IV
1300m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0,0
-5,0
-10,0
-20,0
-25,0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

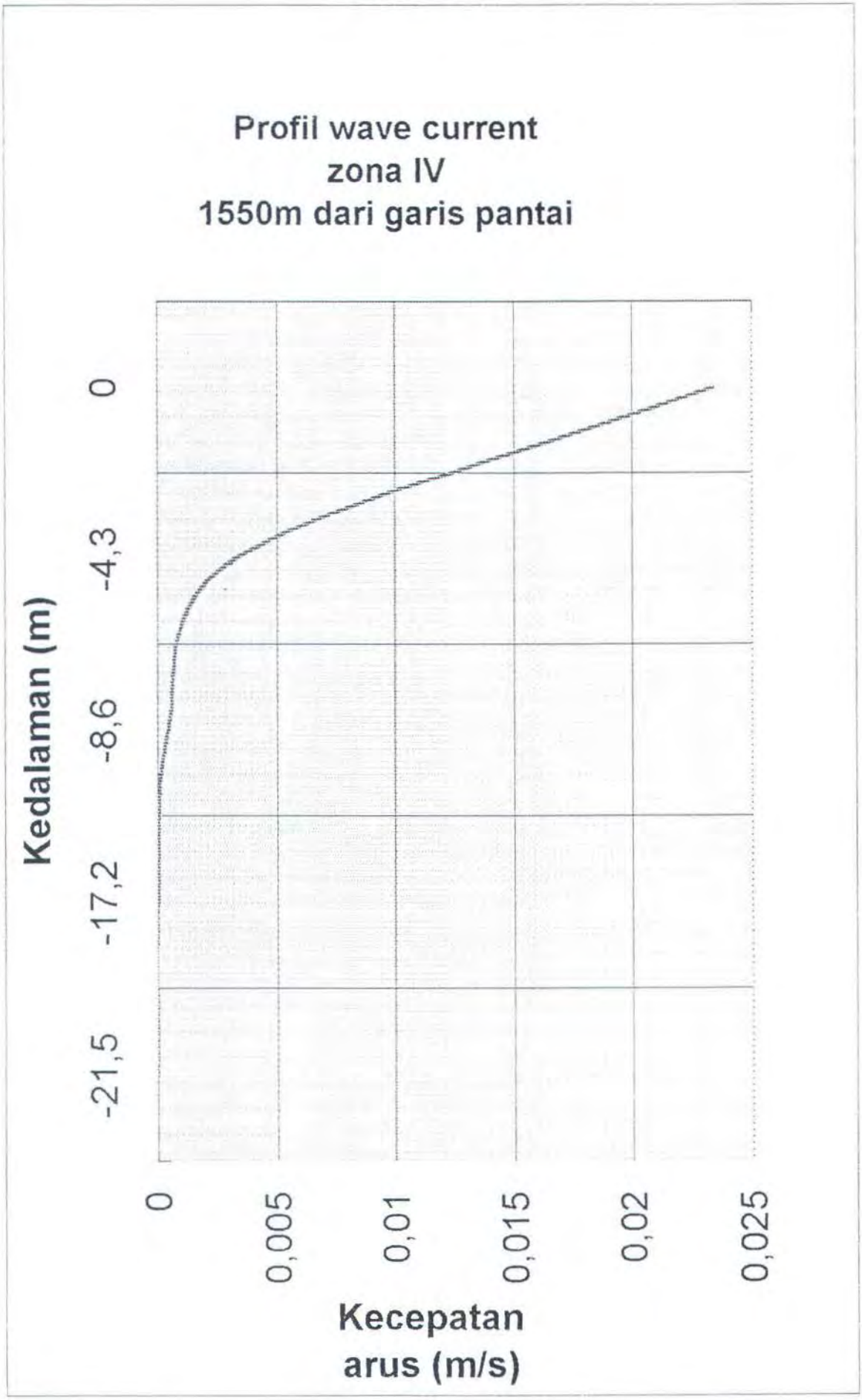

Profil wave current
zona IV
1350m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-4,8
-9,6
-19,2
-24
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

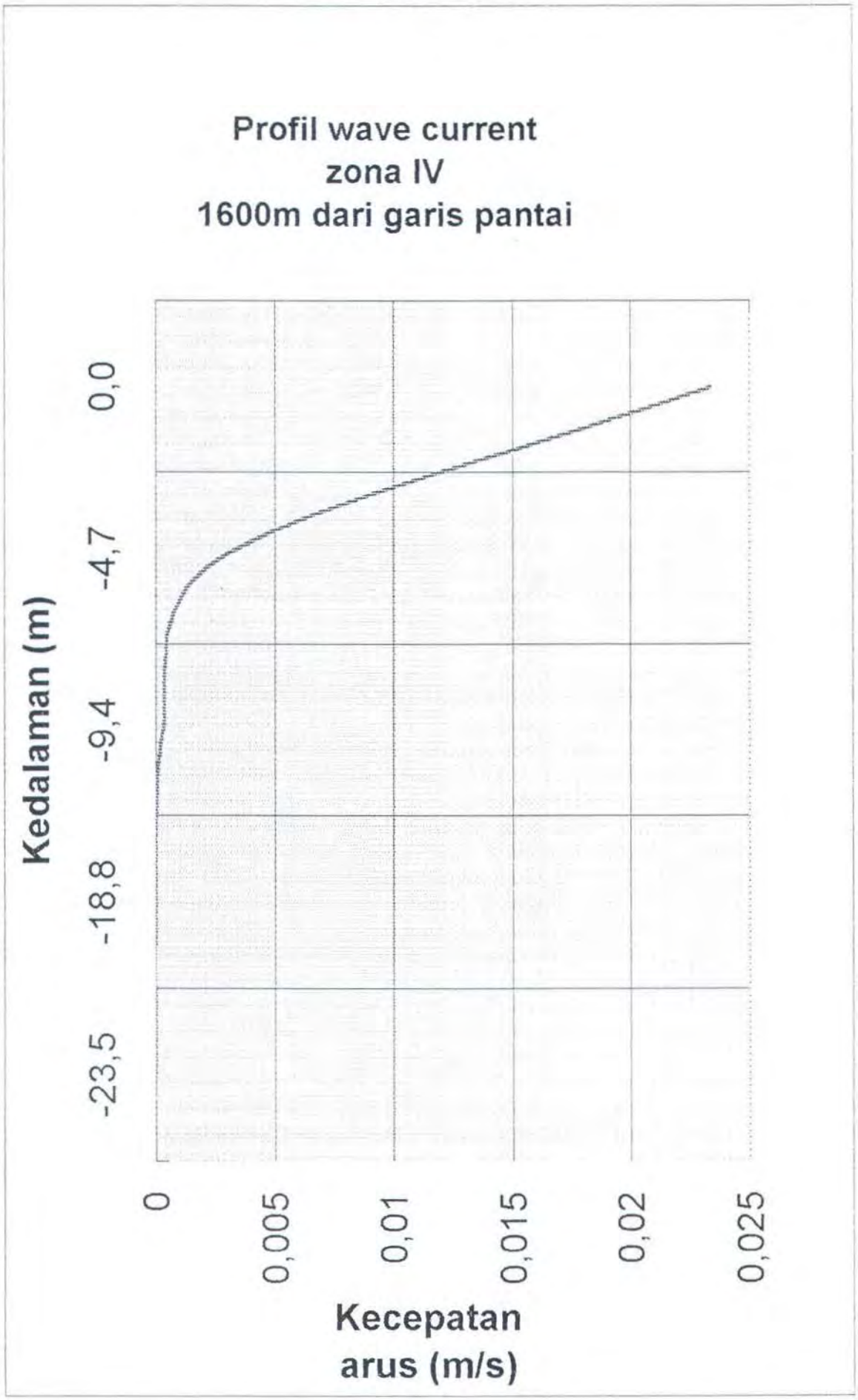

Profil wave current
zona IV
1450m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-4
-8
-16
-20
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

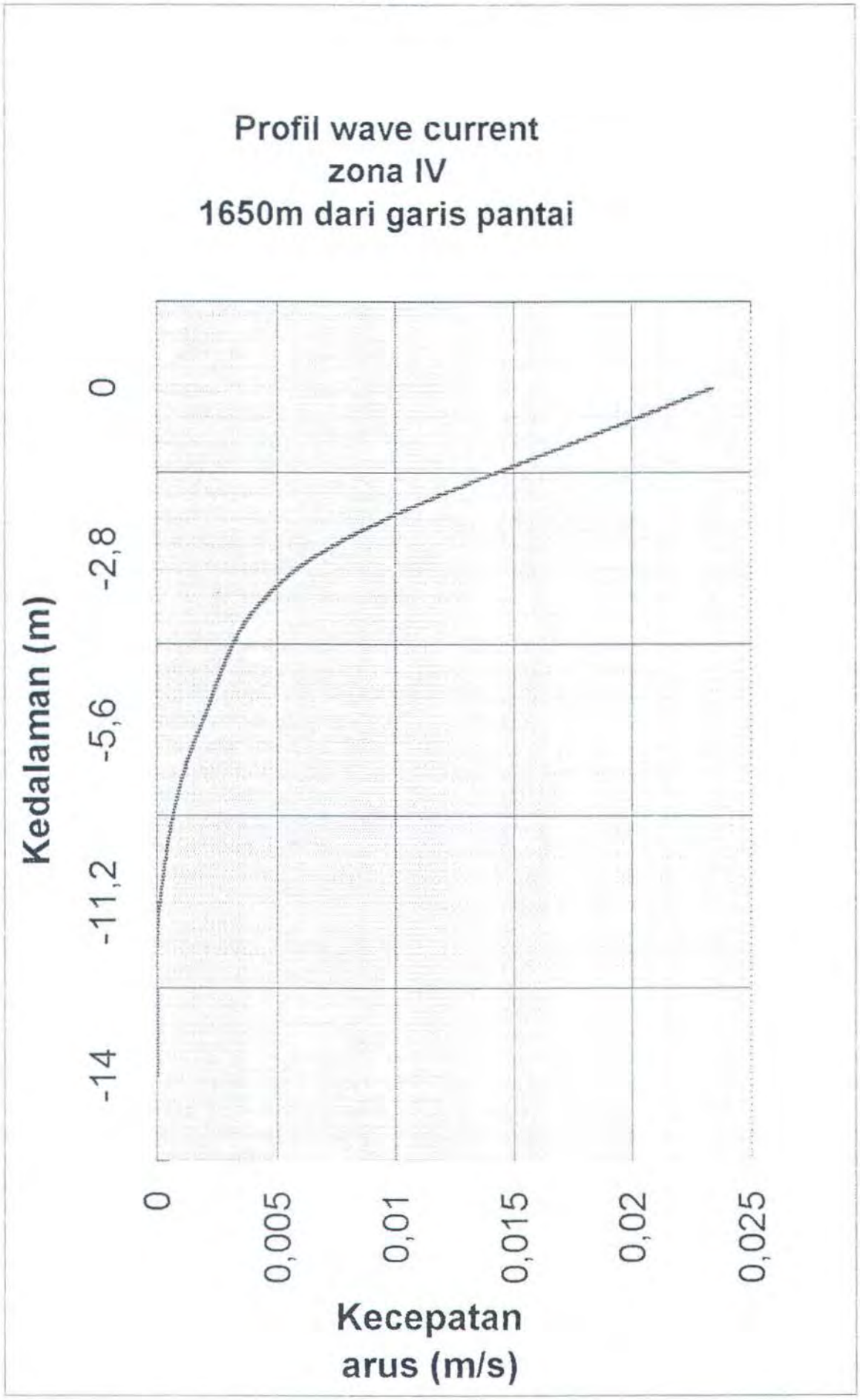
Profil wave current
zona IV
1500m dari garis pantai

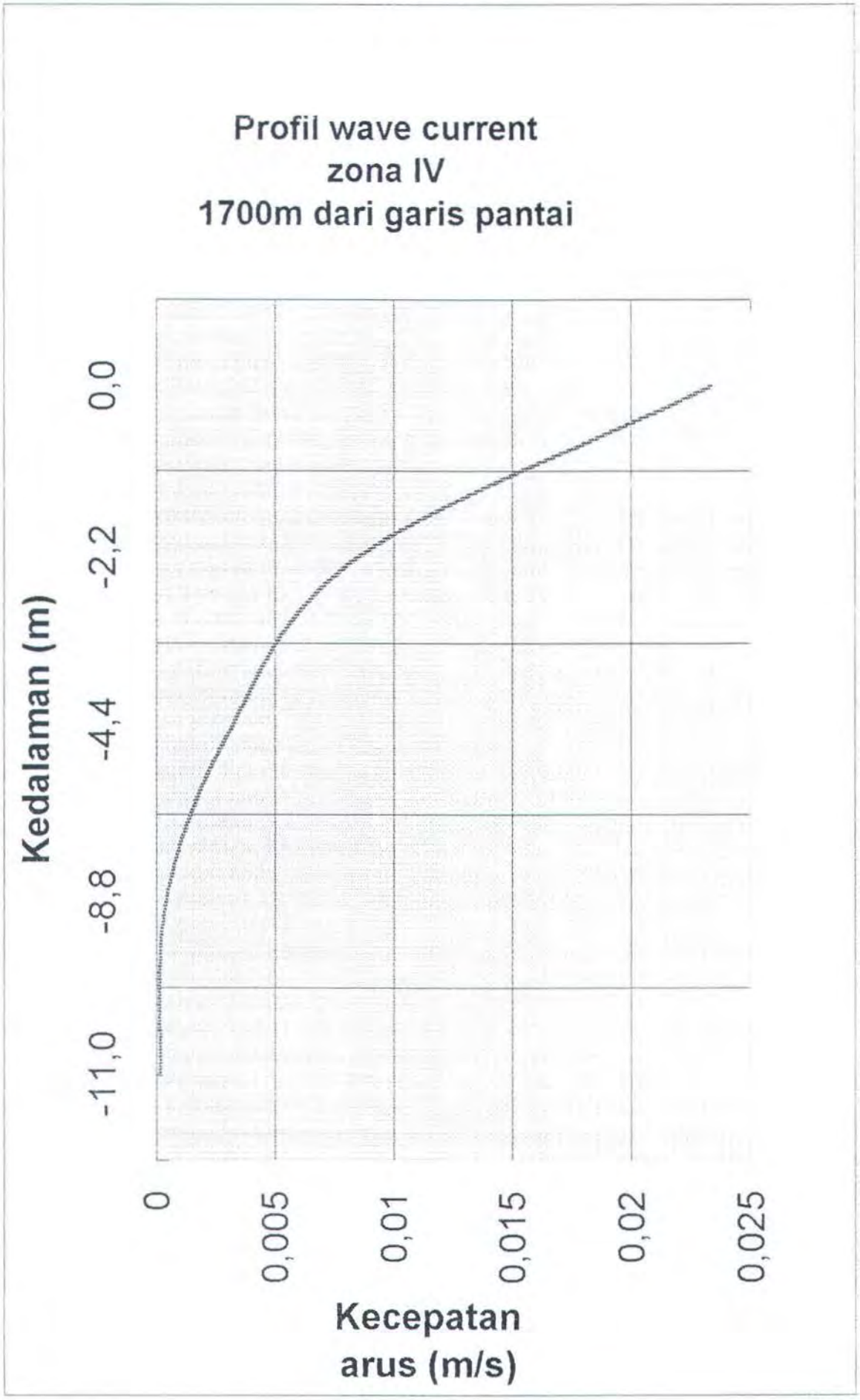
MILIK PERPUSTAKAAN ITS

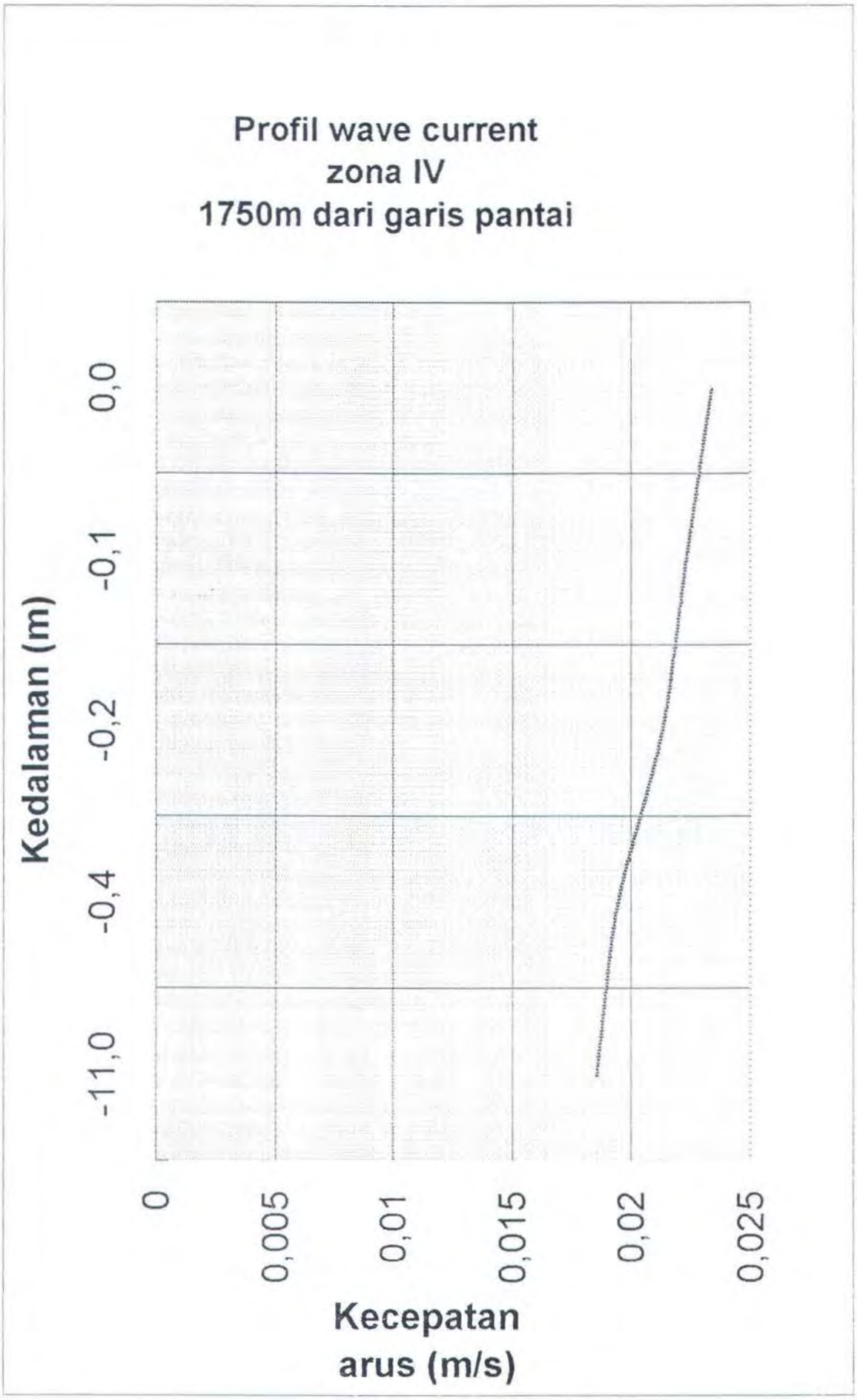


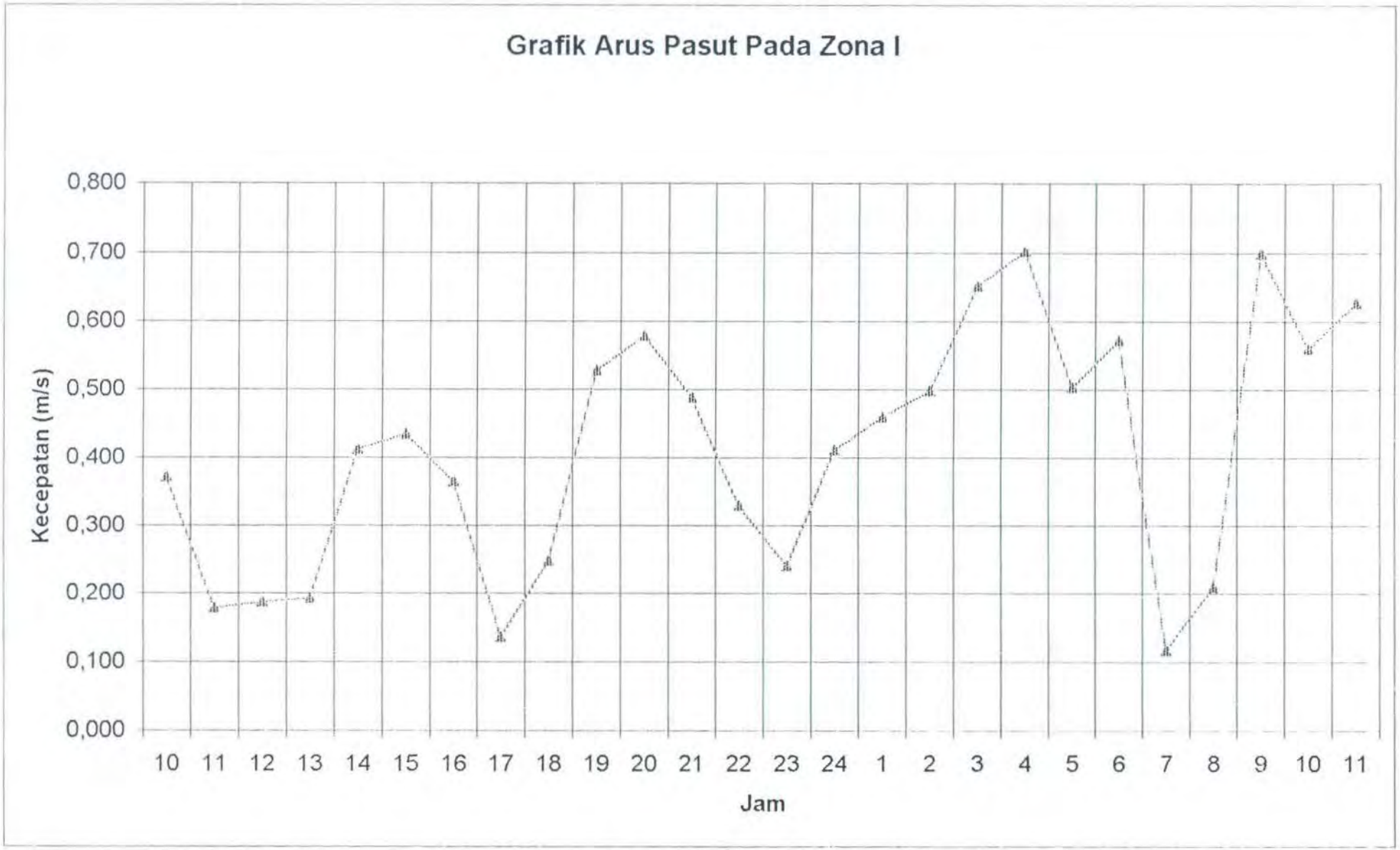

Profil wave current
zona IV
1550m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0
-4,3
-8,6
-17,2
-21,5
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current
zona IV
1600m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-23,5
-18,8
-9,4
-4,7
0,0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current
zona IV
1650m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-14
-11,2
-5,6
-2,8
0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Profil wave current
zona IV
1700m dari garis pantai
Kedalaman (m)
0,0
-2,2
-4,4
-8,8
-11,0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)

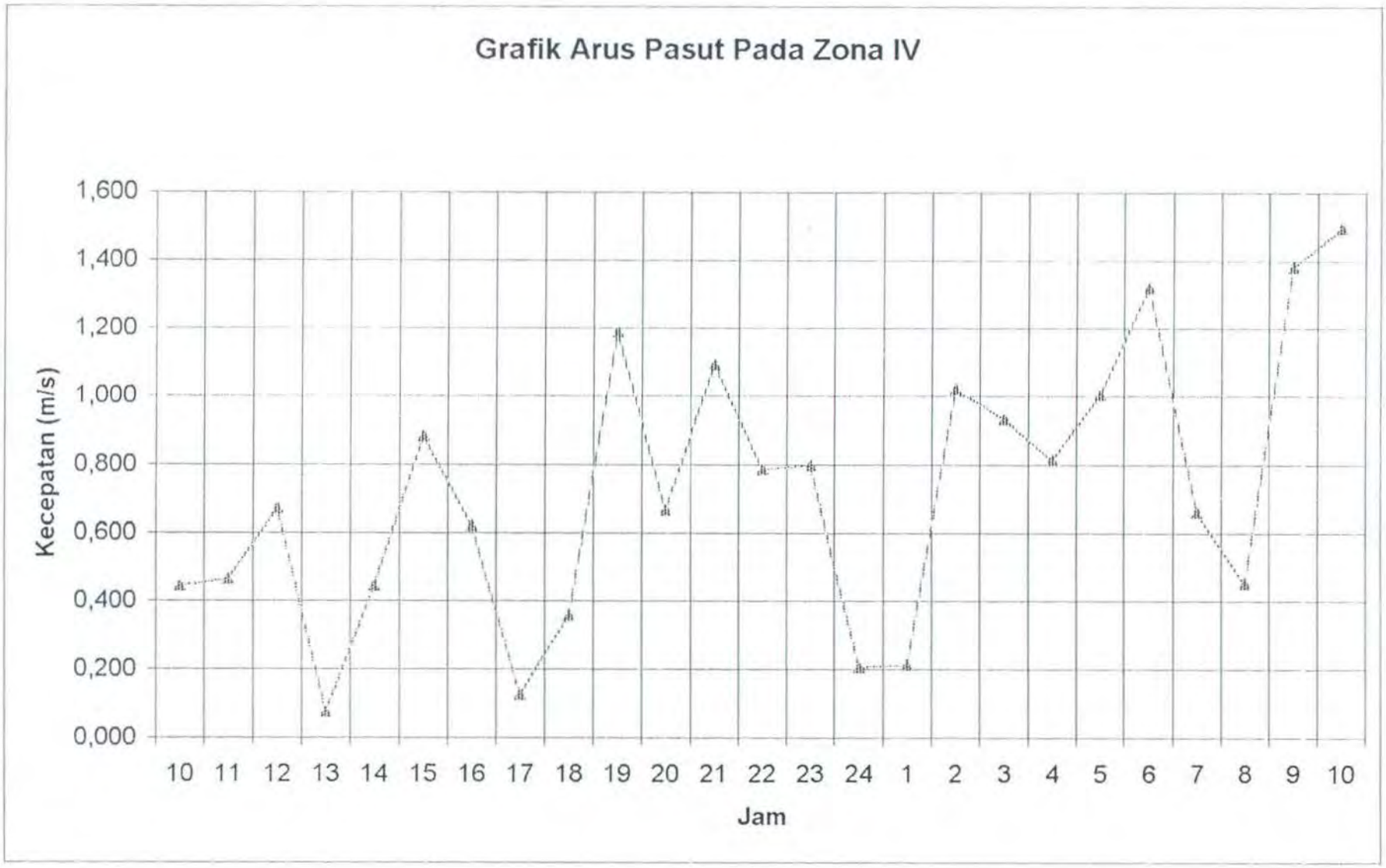

Profil wave current
zona IV
1750m dari garis pantai
Kedalaman (m)
-11,0
-0,4
-0,2
-0,1
0,0
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Kecepatan
arus (m/s)


Grafik Arus Pasut Pada Zona I
Kecepatan (m/s)
0,800
0,700
0,600
0,500
0,400
0,300
0,200
0,100
0,000
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
Jam

Grafik Arus Pasut Pada Zona I
Arah Terhadap Utara (Derajat)
400,000
350,000
300,000
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0,000
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
Jam

Grafik Arus Pasut Pada Zona III
Kecepatan (m/s)
0,800
0,700
0,600
0,500
0,400
0,300
0,200
0,100
0,000
11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Jam

Grafik Arus Pasut Pada Zona III
Arah Terhadap Utara (Derajat)
400,000
350,000
300,000
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0,000
11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Jam


Grafik Arus Pasut Pada Zona IV
Kecepatan (m/s)
1,600
1,400
1,200
1,000
0,800
0,600
0,400
0,200
0,000
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Jam

Grafik Arus Pasut Pada Zona IV
Arah Terhadap Utara (Derajat)
400,000
350,000
300,000
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0,000
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Jam