



PEDOMAN

No. 07 /P /BM /2026

Bidang Jalan

METODE PENGEBORAN HIBRIDA



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jl. Pattimura No.20, Selong Keb. Baru, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12110, Telepon (021) 7203165 Surel dirjenbm@pu.go.id

SURAT EDARAN DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA NOMOR: 15 /SE/Db/2026 TENTANG PEDOMAN METODE PENGEBORAN HIBRIDA

A. Umum

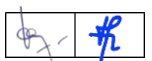
Dalam rangka meningkatkan akurasi penyelidikan geoteknik pada proyek infrastruktur jalan dan jembatan, telah dikembangkan metode pengeboran hibrida untuk memperoleh sampel inti berkualitas tinggi. Metode ini memanfaatkan udara bertekanan dan busa sebagai fluida pengeboran guna mengendalikan tekanan air pori, mengurangi gangguan sampel, serta mempertahankan kondisi inti bor sedekat mungkin dengan keadaan asli.

Pedoman ini disusun untuk menjawab kebutuhan penyelidikan lapangan yang lebih akurat pada kondisi geologi kompleks atau sulit dijangkau dengan metode konvensional.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka perlu menetapkan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga tentang Pedoman Metode Pengeboran Hibrida.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856);
2. Peraturan Presiden Nomor 170 Tahun 2024 tentang Kementerian Pekerjaan Umum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 366);
3. Keputusan Presiden Nomor 28/TPA Tahun 2025 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Dari dan Dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum;
4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2024 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 955);
5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2025 Nomor 252);



C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan teknis bagi pelaksana pekerjaan di Direktorat Jenderal Bina Marga agar pengeboran hibrida dapat dilakukan secara standar, konsisten, dan aman, sehingga hasil penyelidikan geoteknik lebih andal dalam mendukung pengambilan keputusan teknis pada proyek infrastruktur nasional. Surat Edaran ini bertujuan untuk menetapkan prosedur metode pengeboran hibrida, pekerjaan pengeboran dan pengambilan inti hingga evaluasi dan penggunaan inti bor.

D. Ruang Lingkup

Surat Edaran ini memberikan pedoman mengenai penerapan metode pengeboran hibrida untuk memperoleh sampel inti (*core samples*) dan batuan dengan kualitas tinggi. Ruang lingkup pedoman meliputi ketentuan teknis mengenai penggunaan sistem pengeboran yang memanfaatkan udara bertekanan dan busa.

Pedoman ini juga menetapkan bahwa seluruh pernyataan satuan dalam pelaksanaan metode pengeboran hibrida menggunakan Sistem Satuan Internasional (SI).

E. Ketentuan Pengaturan

Pedoman metode pengeboran hibrida mengatur mengenai:

1. ketentuan umum, meliputi:
 - a. karakteristik metode pengeboran hibrida;
 - b. kondisi penggunaan;
 - c. manfaat penggunaan;
 - d. karakteristik inti yang berkualitas;
 - e. rekomendasi karakteristik geologi dan tanah untuk metode pengeboran hibrida; dan
 - f. rencana penyelidikan menggunakan metode pengeboran hibrida.
2. ketentuan teknis, meliputi:
 - a. tipe pengeboran hibrida berdasarkan jenis fluida yang digunakan;
 - b. prinsip pengeboran hibrida;
 - c. material dan peralatan;
 - d. prosedur metode pengeboran hibrida;
 - e. pekerjaan persiapan pengeboran;
 - f. pengeboran dan pengambilan inti;
 - g. penanganan inti bor; dan
 - h. evaluasi dan penggunaan inti bor dari metode pengeboran.

Ketentuan lebih rinci mengenai metode pengeboran hibrida dimuat dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

F. Penutup

Surat Edaran Direktur Jenderal ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian Surat Edaran ini untuk dilaksanakan sebaik-baiknya. Atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum;
2. Wakil Menteri Pekerjaan Umum;
3. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum;
4. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum.

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal 12 Juni 2026

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,



ROY RIZALI ANWAR
NIP. 19810430 200312 1 006

SALINAN

PRAKATA

Metode pengeboran hibrida merupakan teknologi yang dikembangkan untuk memperoleh sampel inti (*core samples*) berkualitas tinggi. Pada metode ini, udara bertekanan digunakan untuk menghasilkan busa dengan bantuan agen pembusa. Busa tersebut berfungsi sebagai fluida pengeboran sehingga tekanan air berlebih dapat dikendalikan, gangguan terhadap inti dapat diminimalkan, dan hasil inti bor yang diperoleh memiliki kualitas lebih baik.

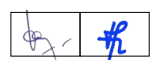
Pedoman *Metode Pengeboran Hibrida*—atau *Hybrid Drilling Method* dalam bahasa Inggris—disusun untuk menjawab kebutuhan akan metode penyelidikan lapangan yang lebih akurat, terutama dalam menghasilkan sampel inti berkualitas tinggi.

Pedoman ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi seluruh pemangku kepentingan dalam pekerjaan pengeboran pada kondisi geologi yang kompleks atau sulit dijangkau dengan metode pengeboran konvensional. Dengan metode pengeboran hibrida, tingkat keandalan data geologi dapat ditingkatkan karena sampel inti yang dihasilkan memiliki presisi lebih baik, sehingga mutu analisis meningkat, pengambilan keputusan menjadi lebih tepat, dan risiko proyek dapat dikurangi.

Pedoman ini merupakan adopsi identik dari *Guidelines for the Hybrid Drilling Method* (lihat Lampiran C) yang disusun oleh Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur bersama HI-TEC, Inc. di bawah program hibah *Official Development Assistance (ODA) Verification Survey for Hybrid Drilling Method* antara JICA dan Direktorat Jenderal Bina Marga (c.q. Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan). Penyusunan pedoman ini mengacu pada ketentuan perundang-undangan yang berlaku. Apabila di kemudian hari ditemukan kekurangan atau kesalahan, penyempurnaan pedoman akan dilakukan.

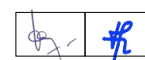
Jakarta, 12 Juni 2026
Direktur Jenderal Bina Marga,

Roy Rizali Anwar

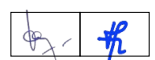


DAFTAR ISI

PRAKATA	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
PENDAHULUAN	1vii
1 Ruang Lingkup.....	1
2 Acuan Normatif	1
3 Istilah dan Definisi.....	1
4 Ketentuan Umum	3
4.1 Karakteristik Metode Pengeboran Hibrida.....	3
4.2 Kondisi Penggunaan	4
4.3 Manfaat Penggunaan.....	4
4.3.1 Keandalan Data.....	4
4.3.2 Efisiensi Biaya	4
4.3.3 Keunggulan Teknis	4
4.3.4 Pemahaman Mendalam tentang Karakteristik Geologi.....	4
4.4 Karakteristik Inti yang Berkualitas Tinggi.....	5
4.5 Rekomendasi Karakteristik Geologi dan Tanah untuk Metode Pengeboran Hibrida.....	5
4.6 Rencana Penyelidikan Menggunakan Metode Pengeboran Hibrida	6
4.6.1 Penyelidikan Longsoran.....	6
4.6.2 Penyelidikan Tanah Umum	6
5 Ketentuan Teknis.....	7
5.1 Tipe Pengeboran Hibrida Berdasarkan Jenis Fluida yang Digunakan	7
5.1.1 Fluida Berbasis Polimer atau Lumpur (<i>Muddy Fluid</i>)	7
5.1.2 Busa Udara.....	7
5.2 Prinsip Pengeboran Hibrida	7
5.3 Material dan Peralatan	8
5.3.1 Konfigurasi Peralatan Pengeboran Hibrida	8
5.3.2 Mesin Bor	9
5.3.3 Mata Bor.....	10
5.3.4 Tabung Inti (<i>Core Barrel</i>).....	10
5.3.5 Pembangkit Busa	11
5.3.6 Pendorong Inti (<i>Core Lifter</i>).....	11
5.3.7 Pipa Belah Berbahan PVC.....	12
5.3.8 Selongsong Polietilena (PE)	12
5.3.9 Alat Pembersih Inti Bor	13



5.4	Prosedur Metode Pengeboran Hibrida	13
5.5	Pekerjaan Persiapan Pengeboran	14
5.5.1	Survei Lokasi	14
5.5.2	Penyusunan Rencana Pengeboran	15
5.5.3	Survei Topografi	15
5.5.4	Transportasi	15
5.5.5	Struktur Sementara	16
5.6	Pengeboran dan Pengambilan Inti	16
5.6.1	Pemasangan Peralatan Pengeboran	16
5.6.2	Metode Pengeboran	18
5.6.3	Jenis Tabung Inti yang Digunakan	21
5.6.4	Penyesuaian Konsentrasi Bahan Pembentuk Busa dan Polimer dalam Air Pengeboran	23
5.7	Penanganan Inti Bor	25
5.7.1	Penanganan dan Pengelolaan Sampel di Lapangan	25
5.7.2	Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan Saat Mengangkut Inti Bor	25
5.7.3	Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan Saat Menyimpan Inti Bor	25
5.8	Evaluasi dan Penggunaan Inti Bor dari Metode Pengeboran	26
5.8.1	Pembersihan Sampel	26
5.8.2	Pengambilan Foto Inti Bor	27
	Bibliografi	28
	Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa	29
	Lampiran A (Informatif) Lokasi Uji Coba Metode Pengeboran Hibrida	30
	Lampiran B (Informatif) Rujukan	51
	Lampiran C (Normatif) <i>Guidelines for the Hybrid Drilling Method</i>	53



DAFTAR TABEL

Tabel 1 - Metode pengeboran hibrida	19
Tabel 2 - Alat dan metode pengeboran inti.....	21

SALINAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 - Perbandingan kualitas inti yang diperoleh dengan: (a) metode hibrida dan (b) metode konvensional	8
Gambar 2 - Konfigurasi peralatan untuk pengeboran hibrida	9
Gambar 3 - Struktur umum tipe tabung tunggal (JICA, 2013)	10
Gambar 4 - Struktur umum tipe tabung ganda (JICA, 2013)	10
Gambar 5 - Struktur umum tipe tabung ganda putar (JICA, 2013).....	10
Gambar 6 - Struktur umum tipe tabung tiga lapis (JICA, 2013).....	10
Gambar 7 - <i>Sight glass</i> dengan <i>spinner</i>	11
Gambar 8 - Pendorong inti (<i>core pusher</i>).....	12
Gambar 9 - Pipa belah berbahan PVC	12
Gambar 10 - Selongsong polietilena (PE)	13
Gambar 11 - Prosedur pengeboran metode hibrida	14
Gambar 12 - Dokumentasi pengaturan pompa	17
Gambar 13 - Contoh pencampuran agen pembusa dan polimer.....	17
Gambar 14 - Pengaturan <i>core-lifter</i> dan selongsong PE	18
Gambar 15 - Tabung inti ganda tipe putar standar	22
Gambar 16 - Tabung inti tiga lapis standar	23
Gambar 17 - Pembentuk busa menggunakan formulasi standar	24
Gambar 18 - Pelepasan selongsong PE	26
Gambar 19 - Pembersihan permukaan inti bor	27

PENDAHULUAN

Kegiatan penyelidikan geoteknik merupakan tahapan penting dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan infrastruktur, terutama pada proyek jalan dan jembatan. Akurasi data bawah permukaan sangat menentukan kualitas perhitungan teknis, efisiensi desain, serta pengendalian risiko pada tahap konstruksi ataupun operasional. Salah satu sumber data paling krusial dalam penyelidikan geoteknik adalah sampel inti (*core samples*) karena sampel utuh memberikan informasi yang komprehensif terkait kondisi geologi, struktur lapisan tanah dan batuan, serta karakteristik mekanis bawah permukaan.

Tantangan geoteknik di Indonesia sering kali muncul akibat kondisi geologi yang kompleks atau sulit dijangkau, serta keterbatasan metode pengeboran konvensional dalam menjaga kualitas sampel inti. Metode pengeboran konvensional kerap menyebabkan gangguan pada sampel atau terkontaminasinya sampel oleh lumpur bor sehingga dapat menurunkan keandalan data dan berpotensi memengaruhi ketepatan analisis dan pengambilan keputusan.

Metode pengeboran hibrida dikembangkan sebagai solusi atas permasalahan tersebut. Teknologi ini memanfaatkan udara bertekanan dan busa sebagai fluida pengeboran untuk mengendalikan tekanan air pori, mengurangi gangguan terhadap sampel, serta mempertahankan kondisi inti bor sedekat mungkin dengan keadaan aslinya. Dengan meningkatnya kualitas inti bor, metode ini dapat memberikan data geoteknik yang lebih presisi sehingga efektivitas penyelidikan meningkat, risiko proyek berkurang, serta biaya penyesuaian desain pada tahap konstruksi dapat diminimalkan.

Pedoman metode pengeboran hibrida terdiri dari ruang lingkup, acuan normatif, istilah dan definisi, ketentuan umum, ketentuan khusus, bibliografi, dan lampiran. Pedoman ini disusun sebagai acuan bagi pelaksana pekerjaan agar penerapan metode pengeboran hibrida dapat dilakukan secara standar, konsisten, dan aman, sehingga hasil penyelidikan geoteknik lebih andal dalam mendukung pengambilan keputusan teknis pada proyek infrastruktur nasional.

Pedoman Metode Pengeboran Hibrida

1 Ruang Lingkup

Pedoman ini menetapkan metode pengeboran hibrida untuk memperoleh sampel inti (*core samples*) tanah dan batuan berkualitas tinggi.

Satuan yang dinyatakan di dalam pedoman ini adalah Sistem Satuan Internasional (SI).

2 Acuan Normatif

SNI 2436:2008, *Tata cara pencatatan dan identifikasi hasil pengeboran inti*

SNI 3638:2012, *Metode pengujian kuat tekan bebas tanah kohesif*

SNI 03-6802-2002, *Tata cara penyelidikan dan pengambilan contoh uji tanah dan batuan untuk keperluan teknik*

SNI 8460:2017, *Persyaratan perancangan geoteknik*

3 Istilah dan Definisi

3.1

agen pembusa (*foam agent*)

bahan dasar pembentuk busa udara dengan natrium olefin (C14–16) *sulfonat* sebagai bahan utama

3.2

fluida berbasis polimer (*polymer-based fluid*)

pengental berbasis polimer, seperti *carboxymethyl cellulose* (CMC) atau polimer akrilik yang ditambahkan ke dalam fluida sirkulasi untuk meningkatkan kekentalan dan stabilitas lubang bor

3.3

fluida berlumpur (*muddy fluid*)

air sirkulasi yang dicampur dengan bentonit 7% (tujuh persen) sampai dengan 10% (sepuluh persen), berfungsi sebagai fluida pengeboran umum yang efektif dalam mencegah endapan lumpur dan membentuk dinding lumpur

3.4

inti berkualitas tinggi (*high-quality core*)

inti yang diperoleh selama penyelidikan geologi dengan detail yang jelas dan keandalan tinggi serta digunakan untuk analisis lapisan geologi; disebut juga sebagai inti yang minim gangguan



3.5

inti bor (*core*)

sampel berbentuk silinder dari batuan atau tanah yang diambil dari bawah permukaan bumi menggunakan alat bor; disebut juga sebagai inti

3.6

metode pengeboran hibrida (*hybrid drilling*)

metode yang dikembangkan dengan tujuan untuk memperoleh inti bor berkualitas tinggi, dengan fluida pengeboran dapat diganti sesuai dengan kondisi geologi

3.7

pembangkit busa (*foam generator*)

perangkat yang menambahkan busa udara ke dalam fluida pengeboran untuk meningkatkan karakteristik fluida dan efisiensi pengeboran

3.8

pendorong inti (*core lifter*)

komponen pada alat pengeboran yang berfungsi untuk menahan atau menjepit inti bor di dalam tabung inti (*core barre*) agar inti tidak jatuh atau tergelincir keluar saat proses pengangkatan alat bor ke permukaan

3.9

penekan inti (*core pusher*)

perangkat yang digunakan untuk mengeluarkan inti bor dari tabung inti (*core barre*)

3.10

pengambilan sampel berkelanjutan

metode pengambilan inti bor tanpa gangguan selama operasi pengeboran; hal ini penting untuk merekam perubahan lapisan geologi secara akurat

3.11

pipa belah berbahan PVC (*split PVC pile*)

pipa PVC sepanjang 1 m yang dibelah memanjang menjadi 2 (dua) bagian untuk menyimpan inti bor

3.12

sampel inti (*core sample*)

material hasil pengeboran (biasanya batuan, tanah, atau sedimen) yang diambil dari bawah permukaan bumi menggunakan alat bor



3.13

selongsong polietilena (PE)

film plastik transparan dan elastis dengan ketebalan sekitar 0,04 mm untuk membungkus sampel selama pengeboran

3.14

sirkulasi fluida

pemompaan fluida ke bawah melalui batang bor berongga dan mengalir kembali ke atas melalui ruang *annular* antara batang bor dan lubang bor, sambil membawa potongan pengeboran; disebut juga sebagai fluida pengeboran

3.15

tabung inti (*core barrel*)

alat atau komponen pada peralatan bor yang berfungsi untuk mengambil dan menampung sampel inti dari dalam lubang bor

4 Ketentuan Umum

4.1 Karakteristik Metode Pengeboran Hibrida

Metode pengeboran hibrida merupakan metode yang dikembangkan untuk memperoleh inti bor (*core*) berkualitas tinggi, dengan fluida pengeboran dapat diganti sesuai dengan kondisi geologi. Metode ini menggunakan udara bertekanan untuk menghasilkan busa dari agen pembusa (*foam agent*), yang kemudian digunakan sebagai fluida pengeboran. Natrium olefin (C14–16) *sulfonat* merupakan bahan utama agen pembusa yang bersifat aman serta memiliki kemampuan membentuk dan memecah busa dengan sangat baik. Zat ini banyak digunakan sebagai detergen rumah tangga.

Dengan busa sebagai fluida pengeboran, tekanan yang berlebihan bisa dihindari sehingga diperoleh inti bor berkualitas tinggi dengan gangguan minimal. Sistem ini juga menggunakan pompa pengumpan cairan dan nosel pembuat busa untuk menyuntikkan agen pembusa ke dalam pipa *bypass*. Ini memungkinkan pasokan busa padat secara stabil dan pengendalian tekanan pemberian busa yang presisi. Dengan sistem ini, tidak hanya kualitas inti yang meningkat, tetapi juga dapat digunakan untuk penyelidikan longsoran (longsor batuan dasar), penyelidikan bendungan (zona sesar, zona alterasi), penyelidikan terowongan, serta pengambilan sampel uji laboratorium (timbunan, tanah kurang terkonsolidasi, koluvial, atau talus (*cliff cone deposit*), yang umumnya sulit dilakukan dengan pengeboran inti konvensional).

Karakteristik utama metode pengeboran hibrida adalah sebagai berikut.

1. Inti dengan gangguan minimal dapat diambil secara kontinu melalui survei geologi dan digunakan sebagai sampel uji.



2. Inti dapat diperoleh dalam kondisi geologi yang bervariasi dan sulit dijangkau oleh metode pengeboran konvensional.

4.2 Kondisi Penggunaan

Metode pengeboran hibrida direkomendasikan untuk digunakan pada kondisi-kondisi tertentu yang memerlukan tingkat presisi tinggi dalam penyelidikan geologi. Beberapa kondisi penggunaan yang relevan dijelaskan sebagai berikut.

1. Penyelidikan geologi yang presisi

Metode pengeboran hibrida tepat digunakan ketika diperlukan analisis dan karakterisasi lapisan geologi secara detail. Sebagai contoh, pada area longsor, penentuan lokasi bidang gelincir secara akurat merupakan hal yang sangat penting.

2. Konstruksi infrastruktur penting

Proyek-proyek yang memiliki tingkat kepentingan tinggi terhadap keamanan struktur seperti jembatan, bendungan, dan gedung bertingkat memerlukan sampel berkualitas tinggi. Pemahaman yang akurat mengenai kondisi tanah sangat berhubungan langsung dengan keamanan dan keandalan pekerjaan konstruksi.

4.3 Manfaat Penggunaan

Manfaat utama dari penggunaan metode ini dijelaskan sebagai berikut.

4.3.1 Keandalan Data

Metode pengeboran hibrida meningkatkan keandalan data geologi karena inti bor diambil dengan tingkat presisi yang lebih tinggi. Hal ini meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dan mengurangi risiko proyek.

4.3.2 Efisiensi Biaya

Investasi awal untuk metode ini mungkin cukup tinggi, tetapi dapat menghasilkan penghematan biaya jangka panjang karena mengurangi ketidakpastian dalam survei dan konstruksi selanjutnya.

4.3.3 Keunggulan Teknis

Pengeboran hibrida menggunakan peralatan dan teknik khusus sehingga metode yang paling sesuai dapat dipilih berdasarkan kondisi geologi. Hal ini memungkinkan pengambilan sampel yang lebih efisien dan efektif.

4.3.4 Pemahaman Mendalam tentang Karakteristik Geologi

Dengan memperoleh inti tanah berkualitas tinggi, komposisi, dan sifat fisik lapisan tanah dapat dianalisis secara detail untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik geologi lokasi tersebut.



4.4 Karakteristik Inti yang Berkualitas Tinggi

Karakteristik inti berkualitas tinggi di dalam studi geologi dan geoteknik umumnya meliputi hal-hal berikut.

1. Struktur fisik tetap terjaga, yaitu:
 - a. struktur asli tanah/batuan tetap utuh; dan
 - b. tidak terdapat retakan atau deformasi akibat pengeboran.
2. Sifat fisik tetap terjaga, yaitu:
 - a. kadar air alami tetap terjaga; dan
 - b. perubahan sifat fisik di lapangan (*in-situ*) minimal.
3. Kualitas pengambilan sampel, yaitu:
 - a. kontaminasi dari fluida pengeboran minimal; dan
 - b. tingkat pemulihan inti (*core recovery rate*) tinggi, idealnya mendekati 100%.
4. Penilaian visual, yaitu:
 - a. inti tanah atau batuan utuh dan berkelanjutan; dan
 - b. tidak terlihat gangguan.
5. Keandalan untuk analisis, yaitu:
 - a. mewakili kondisi lapangan secara akurat; dan
 - b. cocok untuk interpretasi dan analisis geologi yang presisi.
6. Keandalan untuk evaluasi teknis, yaitu:
 - a. penilaian kualitas tinggi dengan teknologi canggih seperti pemindaian *X-ray CT*; dan
 - b. nilai tinggi pada indikator kualitas seperti *Slice Quality (SQ)* atau *Mean CT Number (MCN)*.

4.5 Rekomendasi Karakteristik Geologi dan Tanah untuk Metode Pengeboran Hibrida

Berikut ini dijelaskan rekomendasi karakteristik geologi dan jenis tanah yang dinilai sesuai untuk penerapan metode pengeboran hibrida, berdasarkan kondisi lapangan yang umum dijumpai serta keterbatasan metode konvensional:

1. lapisan tak terkonsolidasi, terutama lapisan gambut serta lapisan campuran lumpur, pasir, dan kerikil;
2. zona patahan tak terkonsolidasi dan lapisan lemah;
3. massa tanah longsor dan bidang gelincir;
4. tanah mengembang;
5. lapisan campuran batuan keras dan lunak serta tanah yang bagian lunaknya sulit diambil dengan metode biasa; dan
6. lapisan lain yang sulit diambil intinya dengan pengeboran geologi konvensional.

Namun, sampel dengan kadar air sangat tinggi dan pasir lepas umumnya tetap sulit diambil tanpa gangguan meskipun menggunakan metode pengeboran hibrida.



4.6 Rencana Penyelidikan Menggunakan Metode Pengeboran Hibrida

4.6.1 Penyelidikan Longsor

SNI 8460:2017 menyatakan bahwa "pengeboran inti sebaiknya dilakukan pada 3 hingga 5 titik pada penampang analisis" sebagai rekomendasi untuk penyelidikan dan analisis longsor. Pada longsor dengan bidang gelincir yang dalam, seperti pada lempung serpih (*clay shale*), metode yang dinilai sesuai untuk mendeteksi bidang gelincir adalah metode pengeboran hibrida. Penentuan jumlah titik penyelidikan tanah yang diperlukan dapat ditetapkan berdasarkan rekomendasi dari ahli geoteknik.

Namun, dalam survei geologi standar, bagian di sekitar bidang gelincir biasanya berupa lapisan yang lunak sehingga inti tanah mudah tergerus air dan hilang. Akibatnya, kedalaman bidang gelincir tidak dapat ditentukan secara akurat yang berujung pada evaluasi longsor yang tidak akurat. Sebaliknya, dengan melakukan pengeboran hibrida pada tiga titik penyelidikan longsor, kedalaman bidang gelincir dapat diperkirakan dengan lebih akurat dan sampel dapat diperoleh untuk pengujian laboratorium. Hal ini memungkinkan evaluasi risiko longsor yang lebih tepat. Contoh aplikasi pengeboran hibrida untuk penyelidikan longsor ditampilkan pada Lampiran A.

4.6.2 Penyelidikan Tanah Umum

Penyelidikan tanah umum dilakukan untuk memperoleh stratifikasi tanah dalam rangka:

1. analisis fondasi struktur; dan
2. penentuan metode dan kedalaman perbaikan tanah.

Metode pengeboran hibrida memungkinkan pengambilan inti tanah dengan gangguan minimal pada berbagai kedalaman, sehingga evaluasi tanah dapat dilakukan dengan lebih akurat, bahkan di area sebaran tanah lunak yang sebelumnya sulit diambil sampelnya secara utuh.

Dalam pelaksanaannya, tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengeboran konvensional dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui jenis tanah, ketebalan lapisan, dan sebaran tanah lunak.
2. Beberapa lokasi dengan jenis tanah yang paling representatif dipilih.
3. Selanjutnya, pengeboran hibrida dilakukan untuk mengonfirmasi jenis tanah dan mengambil inti tanah yang minim gangguan.

Inti tanah yang diperoleh kemudian dibawa ke laboratorium pengujian tanah untuk dilakukan berbagai uji laboratorium guna memahami karakteristik tanah, seperti kadar air, kuat tekan uniaksial, dan karakteristik likuefaksi. Contoh penerapan pengeboran hibrida pada lapisan gambut di Provinsi Riau ditunjukkan pada Lampiran A.



5 Ketentuan Teknis

5.1 Tipe Pengeboran Hibrida Berdasarkan Jenis Fluida yang Digunakan

Metode pengambilan inti bor berkualitas tinggi diklasifikasikan berdasarkan fluida pengeboran sirkulasi yang digunakan, yaitu fluida berbasis polimer, fluida lumpur, atau busa udara.

5.1.1 Fluida Berbasis Polimer atau Lumpur (*Muddy Fluid*)

Pada metode ini, agen pengental berbasis polimer seperti *carboxymethyl cellulose* (CMC) atau agen pengental berbasis polimer akrilik, ditambahkan ke dalam fluida sirkulasi. Penambahan agen pengental ini akan meningkatkan kelicinan (*lubricity*) fluida tersebut sehingga:

1. pengeboran dapat dilakukan dengan tekanan air rendah dan volume air kecil;
2. risiko hilangnya inti, terutama pada lapisan lemah, dapat diminimalkan; dan
3. kualitas inti yang diambil menjadi lebih baik.

Ketika menggunakan fluida berlumpur (*muddy fluid*), kualitas inti juga dapat ditingkatkan dengan mengatur tekanan dan volume air secara presisi. Metode ini membutuhkan:

- a. pengendalian tekanan air yang akurat;
- b. suplai air yang stabil; dan
- c. tekanan pengeboran yang seimbang.

Karena kompleksitasnya, keberhasilan metode ini sangat bergantung pada keterampilan dan pengalaman teknisi pengeboran.

5.1.2 Busa Udara

Metode ini dikembangkan untuk menghasilkan inti berkualitas tinggi melalui pencampuran agen pembusa dengan udara bertekanan guna membentuk fluida sirkulasi berbusa. Metode pembentukan busa meliputi metode tetes (*drip method*), metode tekanan diferensial, dan metode tabung venturi. Karena menggunakan busa sebagai fluida sirkulasi, tekanan air berlebih dapat dihindari dan inti dapat diambil dengan gangguan minimal.

5.2 Prinsip Pengeboran Hibrida

Inti pengeboran diperoleh dengan memutar mata bor logam atau berlian untuk memotong secara silindris melalui lapisan tanah atau batuan dasar. Proses pengeboran inti ini umumnya memerlukan cairan sirkulasi. Jika pada metode konvensional digunakan air atau air berlumpur sebagai fluida sirkulasi, pada metode pengeboran hibrida digunakan cairan busa yang terbuat dari air sabun. Oleh karena itu, peralatan lubang bor dalam metode ini dilengkapi dengan alat pembuat busa yang khusus.

Secara umum, cairan sirkulasi memiliki lima fungsi utama, yaitu:

1. mengurangi panas gesekan yang dihasilkan oleh rotasi mata bor serta mendinginkan peralatan;
2. menjaga kelancaran rotasi dengan mengurangi gesekan di ujung mata bor;



3. mengangkut hasil pengeboran (*cuttings*) ke permukaan;
4. menjaga stabilitas dinding lubang bor dan mengurangi kerusakan pada permukaan inti; dan
5. mengangkat *cuttings* secara cepat saat sirkulasi dihentikan.

Berbeda dengan air biasa, cairan busa memiliki berat jenis yang rendah, dan struktur busanya membuatnya menjadi cairan yang kaku dengan kekuatan tertentu. Oleh karena itu, serpihan *cuttings* tetap dapat terangkat ke atas meskipun menggunakan tekanan yang relatif rendah.

Dengan melakukan pengeboran pada tekanan rendah, kerusakan pada permukaan inti dan dinding lubang bor dapat diminimalkan. Hasilnya, inti yang baik dapat diperoleh dengan peningkatan konsistensi data kondisi bawah permukaan. Saat menggunakan metode konvensional, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, struktur mikro menunjukkan perbedaan signifikan pada bagian batuan dasar yang rusak (lebar dan arah lapisan lempung, kondisi batuan dasar di sekitar lapisan lempung, dan lain-lain). Gambar 1 b) menunjukkan inti yang diambil dengan metode konvensional yang butiran halusnya telah terhanyut oleh air, sehingga menyebabkan hilangnya informasi geologi yang penting.



(a)



(b)

Keterangan: Dalam metode pengeboran hibrida, inti yang besar dapat diambil dengan mempertahankan kondisi bawah permukaan asli tanpa menyebabkan retakan. Hal ini memungkinkan identifikasi secara akurat kondisi bidang gelincir di area rawan longsor

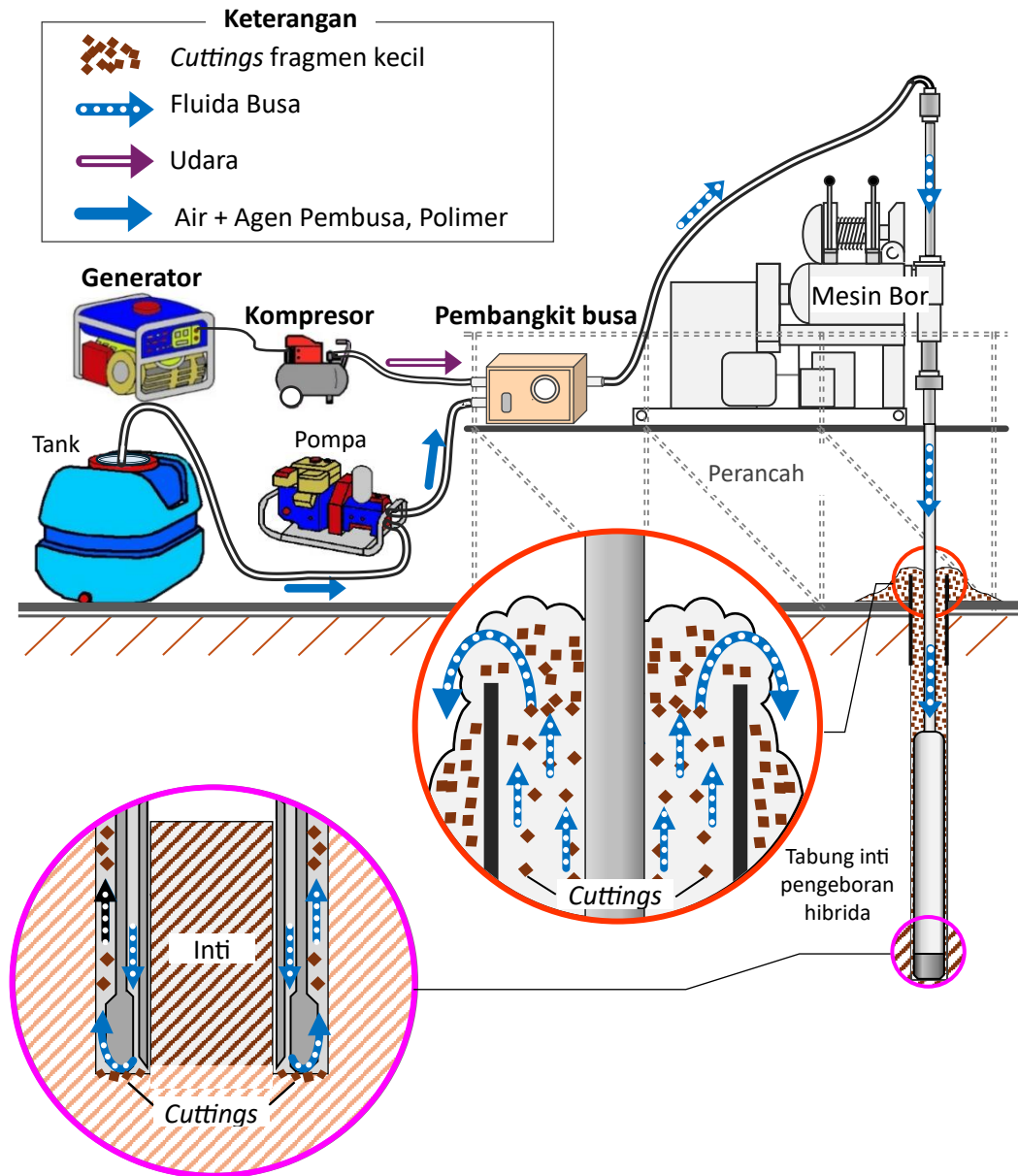
Gambar 1 - Perbandingan kualitas inti yang diperoleh dengan: (a) metode hibrida dan (b) metode konvensional

5.3 Material dan Peralatan

5.3.1 Konfigurasi Peralatan Pengeboran Hibrida

Metode hibrida menggunakan fluida busa yang terbuat dari larutan sabun sebagai fluida sirkulasi. Oleh karena itu, peralatan lubang bor dilengkapi dengan pembangkit busa khusus. Gambar 2 menunjukkan konfigurasi peralatan yang digunakan dalam metode pengeboran hibrida.





Gambar 2 - Konfigurasi peralatan untuk pengeboran hibrida

5.3.2 Mesin Bor

Mesin bor putar (*rotary drilling machines*), batang bor (*drill rods*), tabung inti (*core barrels*) untuk menampung inti, dan mata bor (*drilling bits*) diperlukan dalam proses pengeboran. Metode pengeboran inti hidraulik-putar umumnya digunakan untuk pengambilan inti batuan. Sebagian besar mesin bor putar dan peralatan pengeboran untuk survei geologi dapat digunakan dalam metode pengeboran hibrida.

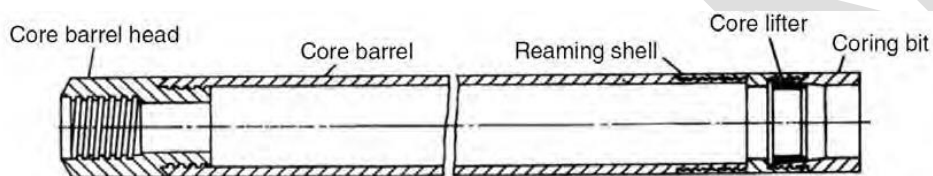


5.3.3 Mata Bor

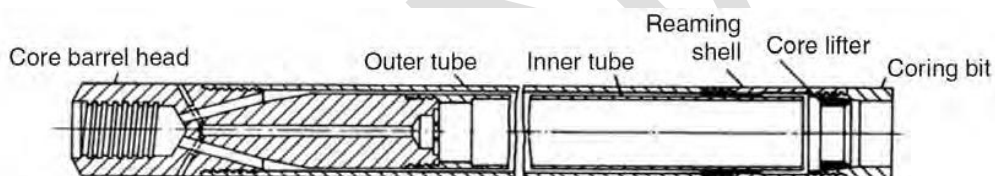
Inti berkualitas tinggi diperoleh dengan menggunakan tabung inti yang dilengkapi mata bor berlian atau bermata tungsten karbida.

5.3.4 Tabung Inti (Core Barrel)

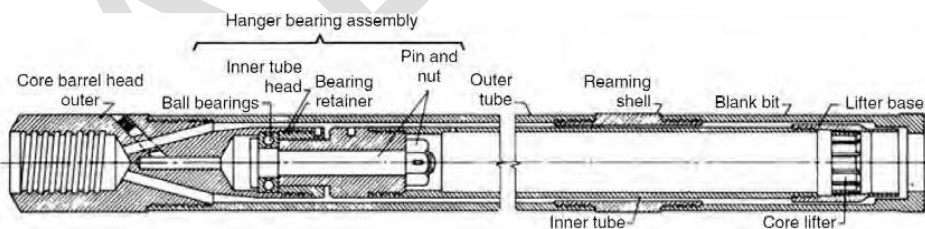
Terdapat jenis-jenis tabung inti yang umum digunakan, yaitu tabung tunggal (*single-tube*), tabung ganda (*double-tube*), dan tabung tiga lapis (*triple-tube*). Jenis tabung ganda dengan mekanisme putar (*double-tube swivel*) dan tabung tiga lapis merupakan tipe yang paling umum digunakan dalam metode pengeboran hibrida. Gambar 3 sampai dengan Gambar 6 memperlihatkan struktur umum tabung berdasarkan jenisnya.



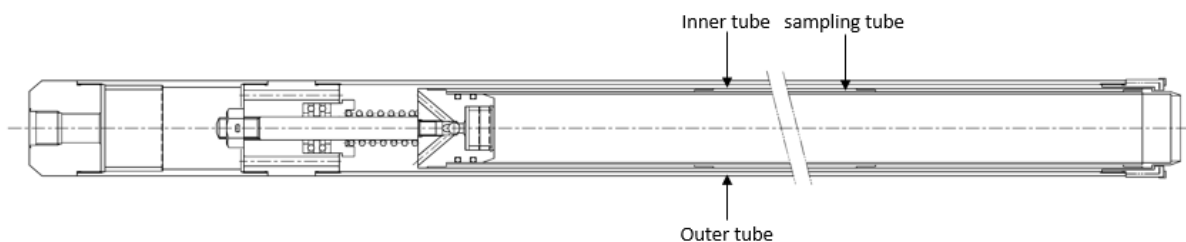
Gambar 3 - Struktur umum tipe tabung tunggal (JICA, 2013)



Gambar 4 - Struktur umum tipe tabung ganda (JICA, 2013)



Gambar 5 - Struktur umum tipe tabung ganda putar (JICA, 2013)



Gambar 6 - Struktur umum tipe tabung tiga lapis (JICA, 2013)



5.3.5 Pembangkit Busa

Pembangkit busa (*foam generator*) terdiri dari pipa utama yang memompa udara dari kompresor ke mesin bor, sebuah pipa *bypass* yang bercabang dari pipa utama, serta nosel pembuat busa yang menyuplai cairan sirkulasi yang dicampur dengan agen pembusa ke dalam pipa *bypass* tersebut. Volume udara yang dipompa dan volume cairan sirkulasi yang disuplai dapat disesuaikan pada peralatan, tergantung pada kondisi geologi.

Sebuah *sight glass* (dilengkapi dengan baling-baling atau *spinner*) digunakan untuk menilai laju aliran cairan sirkulasi. Selama proses pengeboran, *sight glass* memungkinkan aliran cairan pengeboran di dalam selang air diperiksa secara visual dari luar melalui jendela kaca. Dibandingkan dengan *water flow meter* yang umumnya digunakan, *sight glass* tipe baling-baling ini lebih sensitif terhadap aliran cairan dan jarang mengalami gangguan rotasi akibat tekanan pasokan air yang rendah atau volume air yang kecil. Hal ini memudahkan penilaian perubahan laju aliran akibat kecepatan rotasi dan memberikan visibilitas yang sangat baik (Gambar 7).



Gambar 7 - Sight glass dengan spinner

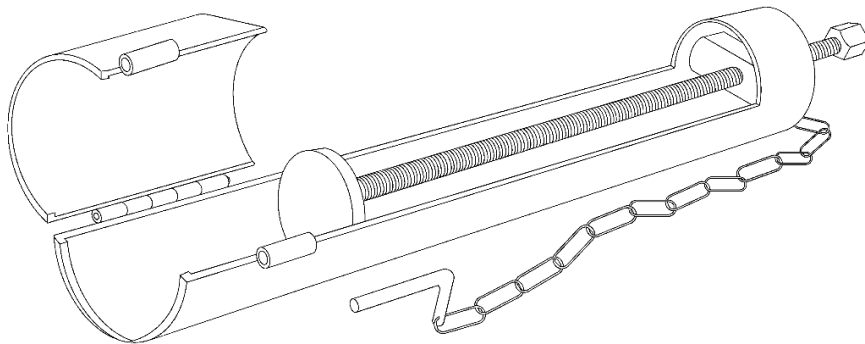
Agen pembusa yang digunakan dalam metode hibrida adalah sodium olefin (C14-16) sulfonat. Bahan utama ini merupakan agen pembusa yang aman dengan kemampuan membentuk dan memecah busa yang sangat baik, serta banyak digunakan sebagai detergen rumah tangga. Bahan ini dinilai aman karena bersifat mudah terurai sehingga dampaknya terhadap lingkungan relatif minimal. Namun, untuk pembuangan dalam jumlah besar, harus diperlakukan sebagai limbah industri seperti halnya agen pembusa biasa dan pembuangan langsung ke sungai atau badan air lainnya harus dihindari.

5.3.6 Pendorong Inti (*Core Lifter*)

Pada beberapa bagian *core lifter*, inti tidak disimpan di dalam selongsong vinil, sehingga sering terganggu pada saat diangkat dari *lifter* yang dapat mengakibatkan penilaian inti yang lebih rendah untuk bagian tersebut. Setelah inti diekstraksi, penekan inti (*core pusher*) mendorong inti yang tersisa di dalam mata bor (*bit*) ke dalam tabung inti (tabung bagian dalam) tanpa merusaknya, sehingga mengurangi gangguan pada inti di bagian *core lifter*. Gambar 8 memperlihatkan pendorong inti.



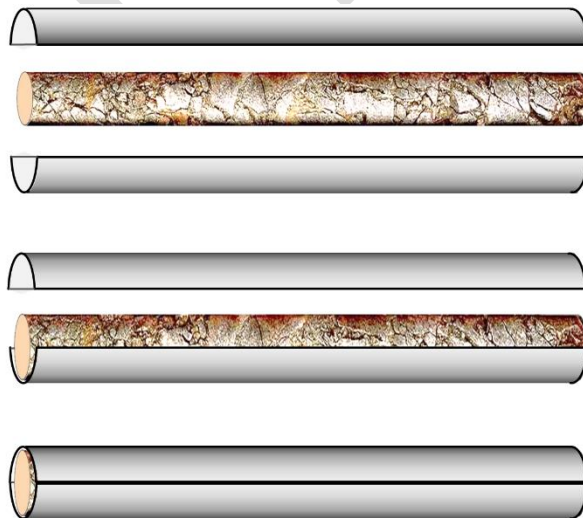
Untuk mengeluarkan inti, operator biasanya menggunakan palu untuk memukul tabung inti. Namun, pengendalian besar gaya pukulan sulit dilakukan dan sering kali menyebabkan kerusakan pada sampel inti. Oleh karena itu, sampel inti dapat ditekan secara merata menggunakan penekan inti sehingga inti dapat didorong keluar dengan bersih dan lancar di dalam tabung ekstensi bagian dalam.



Gambar 8 - Pendorong inti (core pusher)

5.3.7 Pipa Belah Berbahan PVC

Pipa belah berbahan PVC (*split PVC pile*) adalah pipa PVC sepanjang 1 m yang dibelah memanjang menjadi 2 (dua) bagian. Diameter bagian dalam pipa PVC belah ini sedikit lebih besar daripada diameter inti. Dengan menyimpan inti bor di dalam pipa PVC belah, pengeringan dan kerusakan (keruntuhan) inti bor di dalam kotak inti dapat diminimalkan. Ilustrasi pipa belah berbahan PVC ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 - Pipa belah berbahan PVC

5.3.8 Selongsong Polietilena (PE)

Penggunaan selongsong polietilena (PE) untuk pengambilan sampel selama pengeboran memastikan bahwa inti bor yang diperoleh berkualitas tinggi. Selongsong PE adalah film

plastik transparan dan elastis dengan ketebalan sekitar 0,04 mm (Gambar 10). Selongsong PE mengurangi gesekan antara tabung bagian dalam dan sampel yang dikumpulkan dan secara bersamaan membungkus material yang terkumpul agar tidak terlepas. Polietilena memiliki ketahanan kimia dan air yang sangat baik sehingga melindungi inti dari bahan kimia dan kelembapan.

Untuk memasang selongsong PE, ikuti prosedur berikut ini.

1. Lipat selongsong dengan hati-hati menggunakan alat khusus dan simpan di dalam kotak selongsong.
2. Pasang kotak selongsong di bagian atas kotak *lifter* yang digunakan untuk melipat dan memasang selongsong.

Material yang digunakan adalah polietilena. Selongsong ini tersedia dalam 2 (dua) ukuran, disesuaikan dengan diameter penggunaannya. Untuk selongsong dengan diameter 86 mm, dimensinya adalah lebar 100 mm dan ketebalan 0,04 mm. Sementara itu, untuk selongsong berdiameter 66 mm, dimensinya adalah lebar 75 mm dengan ketebalan yang sama, yaitu 0,04 mm.



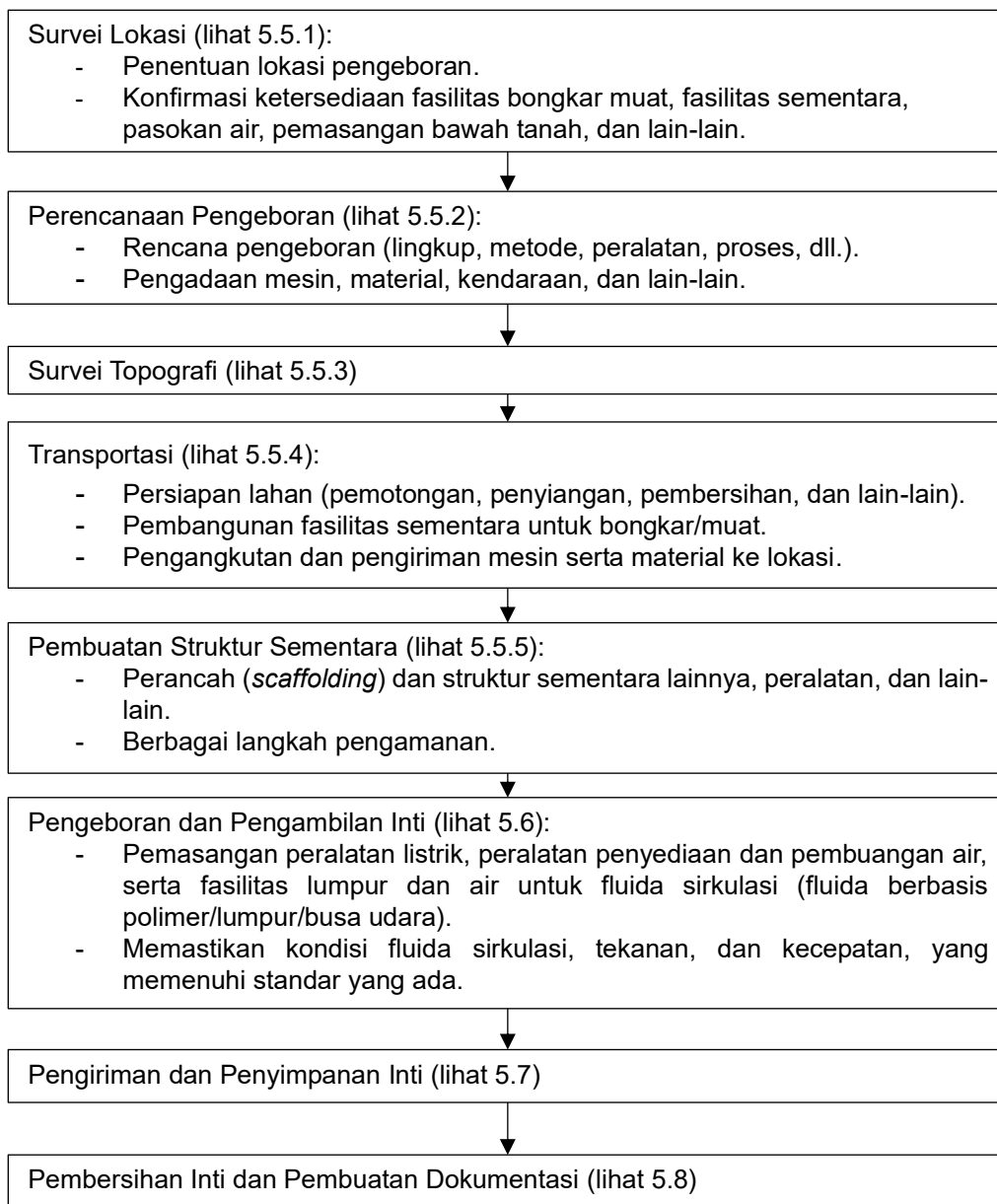
Gambar 10 - Selongsong polietilena (PE)

5.3.9 Alat Pembersih Inti Bor

Untuk menghilangkan lumpur bor (*mud cake*) dari inti yang diambil melalui metode pengeboran, disiapkan alat pembersih inti seperti semprotan air, sikat, dan pemotong (*cutter*).

5.4 Prosedur Metode Pengeboran Hibrida

Prosedur pengeboran hibrida dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11 – Prosedur pengeboran metode hibrida

5.5 Pekerjaan Persiapan Pengeboran

Pekerjaan persiapan (survei lokasi, survei topografi, transportasi, dan pembuatan struktur sementara) dilakukan setelah rencana pengeboran disusun dan sebelum pengeboran dimulai. Tahapan persiapan dijelaskan pada subpasal berikut.

5.5.1 Survei Lokasi

Hal-hal yang perlu dikonfirmasi saat survei lokasi adalah sebagai berikut.

1. Di daerah perkotaan, keberadaan benda-benda yang tertanam di bawah tanah harus dipastikan.
2. Di area yang dikhawatirkan terdapat bahan peledak atau material berbahaya lainnya yang terkubur, perlu dilakukan survei konfirmasi.
3. Jika terdapat fasilitas atau permukiman di sekitar lokasi penyelidikan, pastikan bahwa kualitas air dan kebisingan tidak menimbulkan masalah.
4. Konfirmasi penanganan lubang bor pasca pengeboran (lubang observasi, penimbunan kembali, dan lain-lain).
5. Periksa metode pembuangan air pengeboran dan pembuangan material limbah.

5.5.2 Penyusunan Rencana Pengeboran

Berdasarkan hasil survei lokasi, lokasi titik bor ditentukan. Tujuan dari pengeboran harus dipertimbangkan dalam penyusunan rencana kerja untuk survei tersebut.

5.5.3 Survei Topografi

Lokasi titik bor ditentukan melalui peninjauan lapangan, kemudian dilanjutkan dengan survei pemetaan. Apabila lokasi telah ditetapkan pada peta oleh pemberi tugas (klien), titik tersebut harus dipetakan dengan akurat di lapangan. Kesalahan dalam penentuan lokasi dan elevasi akan menghasilkan hasil pengeboran yang tidak akurat yang berdampak signifikan terhadap proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.

5.5.4 Transportasi

5.5.4.1 Persiapan Daftar Peralatan

Tentukan spesifikasi dan jumlah peralatan serta material yang diperlukan untuk survei pengeboran. Siapkan daftar periksa (*checklist*) dan jika memungkinkan, cantumkan total berat, kapasitas, dan jumlah tiap-tiap komponen.

5.5.4.2 Transportasi di Lokasi

Metode transportasi yang paling efisien dipilih berdasarkan survei lapangan. Umumnya metode transportasi dibagi sebagai berikut:

- a. jika tersedia jalan: berjalan kaki, gerobak dorong, truk kecil, truk;
- b. jika tidak tersedia jalan: *crawler*, monorel;
- c. untuk jarak jauh: truk atau helikopter, tergantung ada tidaknya akses jalan; dan
- d. untuk kemiringan curam: kereta luncur (*sled*), monorel, atau kereta gantung (*cableway*), tergantung jarak transportasi.



5.5.5 Struktur Sementara

Penjelasan berikut mencakup jenis-jenis material struktur sementara yang digunakan serta aspek-aspek penting dalam pekerjaan pemasangan perancah.

1. Material struktur sementara

- a. Tali kawat, tali serat, atau alat lain yang berfungsi sama, digunakan untuk mengangkut dan mengangkat material serta peralatan.
- b. Material perancah pipa baja, seperti pipa tunggal, rangka, sambungan pengikat, sambungan antarpipa, dan aksesori lainnya digunakan untuk membangun perancah kerja.

2. Pekerjaan sementara

Pekerjaan pemasangan perancah melibatkan beberapa elemen yang tergolong berbahaya, seperti pengangkatan dengan tali (*slinging*), pengoperasian katrol (*winch*), dan bekerja di ketinggian. Hal ini memerlukan perhatian khusus terhadap manajemen keselamatan. Perancah sementara tidak hanya penting untuk menjamin keselamatan kerja, tetapi juga untuk mencegah kecelakaan selama pengeboran serta memastikan pelaksanaan survei berkualitas tinggi.

5.6 Pengeboran dan Pengambilan Inti

5.6.1 Pemasangan Peralatan Pengeboran

Metode pengeboran hidrolik-putar membutuhkan peralatan seperti: mesin bor putar (*rotary drill*), batang bor (*drill rod*), tabung inti (*core barrel*), mata bor (*cutting bit*), sistem air, dan pompa. Metode hibrida juga memerlukan generator busa, agen pembentuk busa, dan polimer. Hal-hal yang perlu diperiksa sebelum pengeboran diuraikan sebagai berikut.

5.6.1.1 Koneksi Sistem Air

Hal-hal berikut perlu diperhatikan saat menyiapkan sistem air.

1. Pastikan jalur air terhubung dengan benar.
2. Pastikan semua sambungan kencang dan aman.
3. Periksa dan pastikan sirkulasi air berfungsi dengan baik sebelum memulai proses pengeboran.

5.6.1.2 Pengaturan Pompa

Kerusakan pompa tidak hanya menghentikan proses pengeboran, tetapi juga bisa menyebabkan kecelakaan serius. Oleh karena itu, **suku cadang habis pakai harus disiapkan**. Perhatikan hal berikut saat menangani pompa.

1. Periksa dan isi ulang oli pada titik pelumasan.
2. Pastikan baut/mur terpasang dengan kencang.
3. Pastikan tidak ada lumpur pada bagian berputar seperti *gear box*.



4. Hindari masuknya serpihan kayu, jerami, atau kerikil ke saluran masuk dan keluar udara (*inlet* dan *outlet*).

Dokumentasi pengaturan pompa diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12 - Dokumentasi pengaturan pompa

5.6.1.3 Pencampuran Busa dan Polimer

Rasio pencampuran antara agen pembusa dan polimer harus disesuaikan berdasarkan karakteristik geologi lokasi. Gambar 13 memperlihatkan contoh pencampuran agen pembusa dan polimer.



Gambar 13 - Contoh pencampuran agen pembusa dan polimer

5.6.1.4 Pengaturan *Core-Lifter* dan Selongsong PE

Core-lifter adalah bagian yang dipasang di bagian bawah dalam tabung inti dan berfungsi untuk menahan agar inti bor yang telah dikumpulkan tidak jatuh kembali. Saat memasang *core*

lifter, penting untuk mengoleskan pelumas (*grease*) di antara *core-lifter case* dan *core-lifter* itu sendiri untuk mengurangi gesekan. Selongsong PE adalah plastik fleksibel yang dipasang di bagian dalam perpanjangan tabung inti dan berfungsi untuk menjaga bentuk dan kondisi inti bor yang telah dikumpulkan. Hal-hal berikut perlu diperhatikan saat pemasangan selongsong PE.

1. Panjang selongsong PE: Siapkan selongsong PE dengan panjang 20 cm hingga 30 cm lebih panjang dari inti yang akan diambil.
2. Cara pemasangan selongsong: Sisakan sekitar 5 cm pada ujung selongsong PE yang dimasukkan agar kedua ujungnya dapat ditutup.
3. Penanganan pada bagian ujung selongsong: Ujung selongsong harus distaples pada 2 (dua) titik (lihat Gambar 14). Perlakuan ini mencegah inti menembus keluar selongsong juga memungkinkan udara serta air pengeboran di dalam selongsong mengalir keluar dengan baik.



Gambar 14 - Pengaturan *core-lifter* dan selongsong PE

5.6.2 Metode Pengeboran

Dalam metode pengeboran hibrida, agen pembentuk busa ditambahkan ke dalam air pengeboran dan generator busa menghasilkan busa di dalamnya untuk mencegah keluarnya butiran halus. Metode ini memungkinkan pemahaman yang lebih rinci terhadap area dalam massa batuan yang rentan terganggu selama pengeboran, seperti zona retakan dan zona batuan lunak.

Selama proses pengeboran, *engineer* terlebih dahulu memilih mata bor yang sesuai dengan kondisi geologi, kemudian menentukan kondisi pengeboran yang sesuai dengan mata bor tersebut, dan selanjutnya menyesuaikan kondisi pengeboran berdasarkan perubahan kondisi geologi, kondisi lubang bor, dan beban mata bor selama pengeboran berlangsung. Metode pengeboran terkendali ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 - Metode pengeboran hibrida

Metode pengeboran	Deskripsi
Pengontrol Tekanan (<i>Pressure-feed Control Drilling Method</i>)	Metode ini cocok untuk pengeboran pada kedalaman dangkal dan kondisi geologi yang relatif seragam.
Pengontrol Kecepatan (<i>Speed-controlled Drilling Method</i>)	Metode ini umum digunakan untuk pengeboran pada kondisi geologi yang sangat lunak atau pada area dengan campuran lapisan keras dan lunak.
Seimbang (<i>Balanced Drilling Method</i>)	Metode ini cocok untuk pengeboran pada kedalaman yang lebih besar.

5.6.2.1 Metode Pengontrol Tekanan

Buka sepenuhnya katup pengatur kecepatan dan atur tuas pengalih ke posisi bawah. Pengeboran kemudian dikendalikan sepenuhnya oleh katup pengatur tekanan. Tekanan diberikan pada bagian atas silinder dengan menyesuaikan katup pengatur tekanan. Beban pada ujung mata bor merupakan kombinasi antara berat dari tekanan umpan dan batang bor yang digunakan. Metode ini cocok untuk pengeboran pada kedalaman dangkal dan kondisi geologi yang relatif seragam.

5.6.2.2 Metode Pengontrol Kecepatan

Setelah menutup sepenuhnya katup pengatur kecepatan, atur tuas pengalih ke posisi bawah. Selanjutnya, gunakan katup pengatur tekanan untuk menentukan tekanan maksimum yang akan diterapkan ke bagian atas dan bawah silinder terlebih dahulu. Pada tahap ini, *spindle* tidak akan turun karena tekanan suplai silinder atas sama dengan tekanan balik silinder bawah. Dengan membuka katup pengatur kecepatan secara bertahap dan menyesuaikan tekanan balik dari silinder bawah, *spindle* mulai turun. Selama proses ini, beban pada ujung mata bor merupakan selisih tekanan antara silinder atas dan bawah. Tekanan balik ini mencakup berat batang dan umumnya disebut sebagai gaya penyeimbang (*balancing force*).

Karena metode ini memungkinkan penyesuaian beban mata bor dan kecepatan penurunan *spindle* secara halus, metode ini sering digunakan untuk pengeboran pada kondisi geologi yang sangat lunak atau di area dengan campuran lapisan keras dan lunak.



5.6.2.3 Metode Pengeboran Seimbang

Seiring bertambahnya kedalaman, berat batang itu sendiri menjadi lebih besar sehingga mata bor akan menerima beban yang melebihi beban yang dibutuhkan untuk pengeboran. Oleh karena itu, metode ini digunakan untuk menyesuaikan beban pada mata bor selama proses pengeboran.

Pertama, buka sepenuhnya katup pengatur kecepatan dan atur tuas katup pengalih ke posisi atas. Operasi selanjutnya dilakukan hanya dengan menggunakan katup pengatur tekanan. Dengan mengatur katup pengatur tekanan, tekanan balik (gaya penyeimbang) diterapkan ke bagian bawah silinder, memungkinkan beban pada mata bor dapat dikendalikan. Beban pada ujung mata bor adalah selisih antara berat batang dan tekanan balik.

5.6.2.4 Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan

Saat pengeboran di tanah lunak, jumlah air yang disuplai perlu dikurangi dibandingkan dengan pengeboran normal. Tekanan suplai air selama pengeboran bervariasi tergantung pada kondisi batuan dasar, tetapi harus dijaga pada kisaran 0,1 MPa hingga 0,3 MPa dengan laju suplai air yang konstan, yaitu beberapa liter per menit. Jika tekanan suplai air stabil, proses pengeboran inti dapat dilakukan dengan baik. Namun, apabila tekanan suplai air melebihi kapasitas pemotongan mata bor, tekanan akan meningkat sehingga diperlukan pemantauan dan penyesuaian tekanan suplai air secara rutin. Sangat penting untuk menjaga tekanan suplai air tetap konstan setiap saat.

Penyumbatan inti (*core clogging*) adalah kondisi ketika inti bor tidak masuk ke dalam tabung bagian dalam dengan lancar. Hal ini dapat diketahui dari peningkatan beban secara tiba-tiba pada ujung mata bor atau penurunan kecepatan pengeboran. Oleh karena itu, penting untuk selalu memantau tekanan suplai, tekanan air, dan suara operasi alat bor.

Hal-hal berikut harus diperhatikan saat mengoperasikan mesin bor dalam pekerjaan pengeboran normal, karena mesin sangat sensitif terhadap perubahan kondisi pengeboran (seperti perubahan geologi), dengan urutan pengamatan: getaran dan suara mesin, tekanan pada manometer suplai air, serta kondisi air balik/pembuangan.

Langkah-langkah pengoperasian:

1. torsi rendah (kurangi putaran mesin penggerak utama);
2. putaran tinggi (gunakan gigi tertinggi pada mesin); dan
3. tekanan umpan rendah (untuk menjaga kecepatan pengeboran tertentu).

Risiko terjepit (*jamming*) meningkat karena lumpur (*slime*) cenderung menumpuk di dasar lubang bor jika pengeboran dilakukan dengan kecepatan umpan yang rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengeboran dengan memperhatikan hal-hal berikut.

1. Pengamatan visual: Perubahan pada alat ukur, perubahan warna, serta peningkatan atau penurunan jumlah air balik atau air buangan.



2. Pengamatan suara (pendengaran): Suara dari sumber tenaga (mesin, pompa) dan suara operasi mesin bor itu sendiri.
3. Pengamatan getaran (sentuhan): Getaran selama pengoperasian, ketidaknyamanan saat memeriksa tabung inti dan alat pengambil sampel lainnya (bantalan tabung bagian dalam, poros), serta kondisi tabung inti saat dinaikkan dan diturunkan (stabilitas dan keamanan lubang bor).

5.6.3 Jenis Tabung Inti yang Digunakan

Tabung inti (*core barrel*) adalah alat penting yang dirancang untuk mengambil inti batuan selama proses pengeboran. Terdapat berbagai jenis tabung inti, tiap-tiap jenis disesuaikan dengan operasi pengeboran dan kondisi geologi tertentu (Tabel 2). Meskipun tujuan utamanya adalah untuk memperoleh inti, tabung inti juga meningkatkan efisiensi pengeboran, khususnya pada lingkungan batuan keras, bahkan ketika pengambilan inti tidak diperlukan. Tabung inti diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, seperti tabung inti tunggal (*single-core barrel*), tabung inti ganda (*double-core barrel*), dan tabung inti tiga lapis (*triple-core barrel*).

Tabel 2 - Alat dan metode pengeboran inti

Alat pengambilan inti	Uraian dan penggunaan
Tabung inti tunggal	<ul style="list-style-type: none"> - Digunakan untuk pengeboran batuan yang tidak memerlukan tingkat pemulihan inti (<i>core recovery</i>) dengan nilai tinggi. - Air sirkulasi akan mengikis batuan lunak, lapuk, atau retak.
Tabung inti ganda	<ul style="list-style-type: none"> - Cocok untuk sebagian besar jenis batuan yang tidak memerlukan pemulihan tinggi dan batuan tidak terlalu retak atau lunak. - Pemulihan sering kali rendah pada batuan lunak, retak, dan material tidak terkonsolidasi.
Tabung inti ganda tipe <i>swivel</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Lebih unggul dibandingkan tabung inti 2 (dua) lapis, terutama berguna untuk mendapatkan tingkat pemulihan yang tinggi pada batuan yang rapuh, sangat retak, dan material yang tidak terkonsolidasi. - Lebih mahal dan lebih rumit dibandingkan jenis tabung inti lainnya Tidak diperlukan untuk batuan berkualitas baik.
Tabung inti tiga lapis (digunakan untuk Metode Pengeboran Hibrida)	<ul style="list-style-type: none"> - Serupa dengan tabung inti 2 (dua) lapis, tetapi dilengkapi dengan lapisan dalam tambahan (<i>inner liner</i>), yang terdiri dari tabung plastik bening padat atau tabung logam tipis yang terbelah untuk menjaga bentuk inti. - Paling sesuai untuk mempertahankan inti batuan yang retak dan berkualitas rendah.

5.6.3.1 Tabung Inti Tunggal

Tabung inti tunggal umumnya digunakan ketika kondisi geologi bersifat homogen dan pengambilan inti relatif mudah. Karena fluida pengeboran langsung bersentuhan dengan inti, tabung ini tidak cocok untuk pengambilan inti pada lapisan geologi yang rapuh atau mudah tererosi.

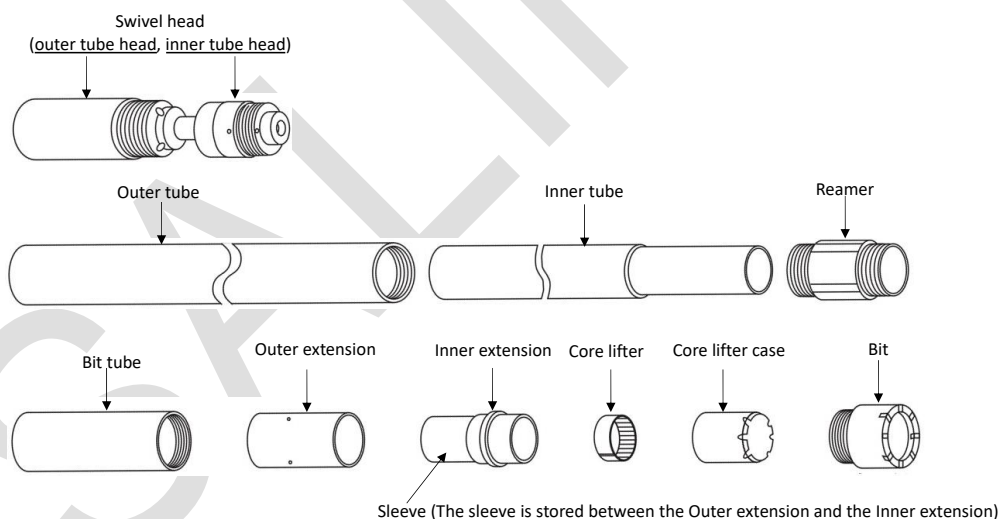
5.6.3.2 Tabung Inti Ganda

Tabung inti ganda meningkatkan efisiensi pengambilan inti dengan mencegah air pengeboran bersentuhan langsung dengan inti. Fluida mengalir di antara tabung luar dan tabung dalam, sehingga inti yang tersimpan di dalam tabung dalam terlindungi. Desain ini sangat berguna untuk mencapai tingkat pengambilan inti yang tinggi pada lapisan heterogen atau lunak yang memiliki banyak retakan, sehingga pengambilan inti menjadi tantangan.

Tabung inti ganda tersedia dalam 2 (dua) jenis, yaitu tipe kaku, yang tabung luar dan tabung dalamnya saling terhubung serta berputar bersamaan, dan tipe *swivel*, yang dilengkapi dengan kepala *swivel* dan bantalan bola terintegrasi. Tipe putar memungkinkan bagian atas tabung dalam tetap diam sementara tabung luar berputar. Tabung inti ganda ini umum digunakan untuk pengambilan inti dari zona retakan dan lapisan dengan banyak celah.

5.6.3.3 Tabung Inti Ganda Tipe Putar (*Swivel Double-Core Barrel*)

Tabung inti ganda tipe putar digunakan pada lapisan yang sulit, yang menyebabkan pengambilan inti menjadi sulit dilakukan (Gambar 15). Desain ini memungkinkan tabung luar berputar melalui kepala *swivel*, sementara tabung dalam tetap diam. Sebuah *core lifter case* dipasang pada ujung tabung dalam dan memanjang hingga ke ujung mata bor untuk mempermudah proses pengambilan inti.

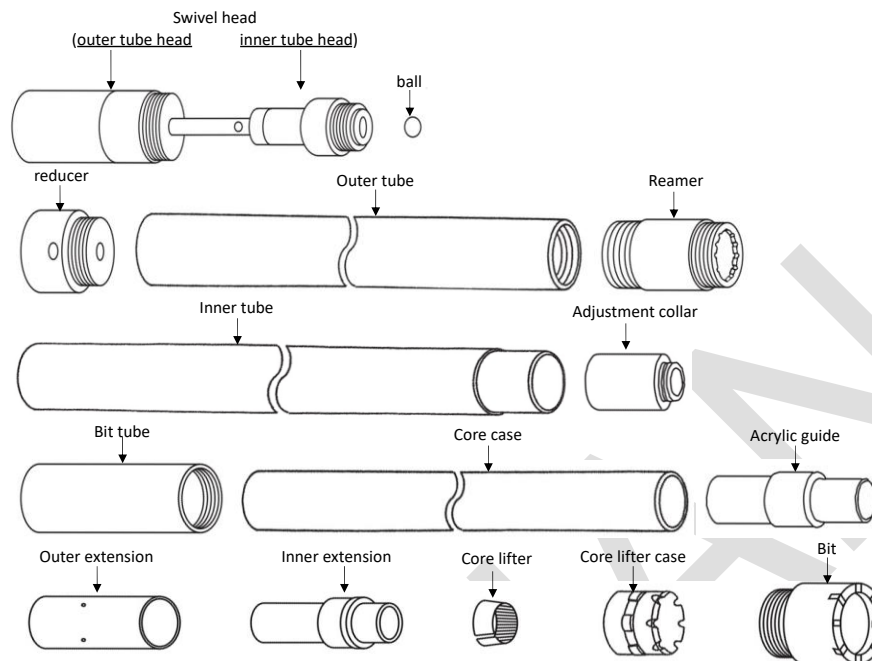


Gambar 15 - Tabung inti ganda tipe putar standar

5.6.3.4 Tabung Inti Tiga Lapis (*Triple-Core Barrel*)

Tabung inti tiga lapis memiliki struktur yang mirip dengan tabung inti ganda, tetapi dilengkapi dengan wadah inti (*core case*) yang terintegrasi ke dalam tabung bagian dalam, sehingga membentuk desain tiga lapis (Gambar 16). Wadah inti ini dapat terbuat dari pipa besi ber dinding tipis atau pipa resin, dan biasanya memiliki belahan vertikal untuk memudahkan

pengeluaran inti. Sebuah piston khusus yang diaktifkan oleh tekanan air membantu dalam proses pengambilan wadah inti tersebut.



Gambar 16 - Tabung inti tiga lapis standar

5.6.4 Penyesuaian Konsentrasi Bahan Pembentuk Busa dan Polimer dalam Air Pengeboran

Sifat-sifat tanah yang akan dibor sangat beragam, dan karakteristik tanah serta batuan dapat berubah seiring kedalaman, bahkan pada lokasi pengeboran yang sama. Dalam pengeboran hibrida, konsentrasi agen pembentuk busa yang ditambahkan ke dalam air pengeboran disesuaikan secara tepat sesuai dengan sifat tanah untuk memaksimalkan efek busa udara dan meningkatkan efisiensi pembuangan lumpur (serpihan pengeboran) yang dihasilkan selama proses pengeboran.

Di sisi lain, polimer membantu mempertahankan busa udara lebih lama dan meningkatkan viskositas air pengeboran di dalam lubang bor untuk melindungi dinding lubang bor. Kombinasi kedua faktor ini memaksimalkan fungsi air pengeboran dan meningkatkan kualitas inti yang diperoleh.

Konsentrasi optimal dari agen pembentuk busa dan polimer ditentukan secara empiris melalui verifikasi berdasarkan berbagai pengalaman konstruksi sebelumnya. Contoh konsentrasi optimal ditunjukkan pada subpasal berikut ini.

5.6.4.1 Formulasi Standar

Formulasi standar yang digunakan disampaikan sebagai berikut serta diilustrasikan pada Gambar 17.



1. Agen pembusa: Tambahkan 1,25 liter agen pembusa ke dalam 500 liter air.
2. Polimer: Tambahkan 0,30 liter polimer ke dalam 500 liter air.



Gambar 17 - Pembentuk busa menggunakan formulasi standar

5.6.4.2 Contoh Formulasi Saat Pengeboran di Tanah Lunak

Contoh formulasi yang digunakan untuk pengeboran di tanah lunak disampaikan sebagai berikut.

1. Agen pembusa: Tambahkan 1,50 liter agen pembusa ke dalam 500 liter air.
2. Polimer: Tambahkan 0,50 liter polimer ke dalam 500 liter air.

Pada tanah lunak, perlu untuk menekan jumlah air pengeboran yang dipompa, tekanan pompa, dan kecepatan pengeboran guna mencegah hilangnya inti bor selama penggalian. Namun, tindakan ini mengurangi efisiensi pembuangan serpihan pengeboran dan menyulitkan proses penggalian.

Untuk mengatasi hal ini, densitas busa dalam air pengeboran ditingkatkan. Selain itu, dengan meningkatkan konsentrasi polimer, daya tahan busa dan stabilitas dinding lubang bor dapat ditingkatkan.

5.6.4.3 Contoh Formulasi Saat Pengeboran Batuan Keras

Contoh formulasi yang digunakan untuk pengeboran batuan keras disampaikan sebagai berikut.

1. Agen pembusa: Tambahkan 0,75 liter agen pembusa ke dalam 500 liter air.
2. Polimer: Tambahkan 0,30 liter atau kurang polimer ke dalam 500 liter air.

Pada batuan dasar yang keras, kehilangan inti dan keruntuhan dinding lubang lebih jarang terjadi, sehingga jumlah dan tekanan air pengeboran dapat ditingkatkan untuk memaksimalkan efisiensi pengeboran. Namun, pada zona rapuh (misalnya, patahan atau

retakan) di antara batuan dasar keras, perlu diterapkan metode pencampuran yang sama seperti pada tanah lunak.

5.6.4.4 Hal-Hal Penting yang Harus Diperhatikan Terkait Air Pengeboran

Air pengeboran biasanya bersumber dari sungai atau kolam. Kualitas air di sungai dan kolam dalam kondisi khusus dapat menunjukkan nilai kekerasan (*hardness*), pH, salinitas, dan kandungan bahan organik yang sangat tinggi atau sangat rendah dibandingkan dengan air normal, yang dapat mengurangi pembentukan busa dan viskositas air pengeboran. Karena faktor-faktor ini dapat saling memengaruhi, sulit untuk menetapkan kriteria yang jelas untuk tiap-tiap komponen. Oleh karena itu, penting untuk mengamati secara langsung kondisi pembentukan busa dan viskositas air pengeboran di lokasi pengeboran.

Jika terjadi penurunan pembentukan busa atau viskositas pada air pengeboran, air harus diperoleh dari sumber lain. Pada kondisi air sungai tertentu, seperti di daerah vulkanik, dekat muara sungai, atau rawa gambut, perhatian khusus perlu diberikan terhadap kualitas air.

5.7 Penanganan Inti Bor

Sampel yang telah diambil dengan hati-hati tetap dapat mengalami gangguan jika proses pengangkutan atau penyimpanannya sebelum pengujian tanah di laboratorium tidak dilakukan dengan benar. Tanah lempung lunak dan tanah pasir lepas memerlukan perhatian khusus. Hal-hal utama yang perlu diperhatikan dalam penanganan sampel dijelaskan pada subpasal berikut.

5.7.1 Penanganan dan Pengelolaan Sampel di Lapangan

Sampel yang telah disegel sebaiknya segera diangkat dan disimpan di ruang pengujian yang dilengkapi dengan pengendalian suhu konstan. Jika penyimpanan sementara harus dilakukan di lokasi pengeboran, penting untuk memilih tempat dengan kondisi yang sesuai, seperti:

1. tidak terpapar getaran dari mesin bor; dan
2. terhindar dari sinar matahari langsung atau suhu tinggi.

5.7.2 Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan Saat Mengangkut Inti Bor

Saat mengangkut inti bor yang telah dikumpulkan, hindari guncangan dan perubahan suhu yang drastis yang dapat merusak kondisi inti.

5.7.3 Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan Saat Menyimpan Inti Bor

Inti bor yang telah diangkat ke ruang pengujian harus diperiksa kondisi segelnya dan kemungkinan deformasi pada tabung sampel, dengan merujuk pada catatan pengambilan sampel. Setelah itu, inti disimpan di ruang penyimpanan dengan pengendalian suhu dan kelembapan. Meskipun disimpan dalam kondisi tersebut, lingkungan penyimpanan tetap



berbeda dengan kondisi alami dalam tanah. Oleh karena itu, penting untuk menghindari penyimpanan dalam jangka waktu lama dan segera melakukan pengujian tanah di laboratorium setelah sampel diterima.

5.8 Evaluasi dan Penggunaan Inti Bor dari Metode Pengeboran

5.8.1 Pembersihan Sampel

Permukaan inti bor yang dikumpulkan menyerap lumpur pengeboran yang digunakan selama proses pengeboran. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi kondisi asli inti bor, lapisan lumpur perlu dibersihkan terlebih dahulu.

Prosedur yang digunakan untuk membersihkan permukaan inti bor, adalah sebagai berikut.

1. Siapkan peralatan pembersih inti, seperti semprotan air, sikat, dan pemotong.
2. Lepaskan selongsong PE yang membungkus inti dengan hati-hati agar tidak merusak inti bor secara tidak sengaja. Gambar 18 memperlihatkan prosedur pelepasan selongsong PE.



Gambar 18 - Pelepasan selongsong PE

3. Sebelum membersihkan, periksa terlebih dahulu kondisi inti bor dan perhatikan tingkat kekerasannya serta adanya material yang terperangkap, agar tidak merusak inti secara tidak sengaja atau menyebabkan hilangnya bagian inti.
4. Bersihkan dan hilangkan lumpur bor yang menempel pada permukaan inti segera setelah selongsong dilepas. Gunakan sikat atau jari sambil menyemprotkan sedikit air dengan semprotan. Pastikan untuk tidak kehilangan bagian yang rapuh seperti serpihan kecil atau bagian lunak dari rekahan. Gambar 19 memperlihatkan prosedur pembersihan permukaan inti bor.



Gambar 19 - Pembersihan permukaan inti bor

5.8.2 Pengambilan Foto Inti Bor

Foto inti bor diambil menggunakan kamera digital dengan kualitas gambar minimal resolusi sekitar 1 mm atau lebih baik. Sebelum pengambilan gambar inti bor dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengambilan gambar percobaan untuk memastikan kondisi pencahayaan dan pengambilan gambar yang tepat. Kondisi cuaca saat pengambilan gambar, bayangan, serta kelembapan pada inti bor turut diperhatikan.

Contoh warna dan informasi terkait inti bor diambil secara bersamaan. *File* foto inti bor disimpan dalam format gambar berkualitas tinggi, dengan memastikan jumlah piksel dan rasio kompresi tidak menurunkan kualitas gambar. Tidak dilakukan koreksi warna atau modifikasi lain terhadap foto yang telah diambil.

Foto inti bor yang berkesinambungan dibuat dengan menyambung foto-foto individu pada komputer, berdasarkan foto inti bor yang diambil untuk setiap boks sampel (*core boxes*).

Bibliografi

- JICA. *Manual Teknis untuk Pekerjaan Pengeboran dalam Rencana Dukungan Teknis bagi Pengebor di DDCA*. Badan Pengeboran dan Konstruksi Bendungan (DDCA) dan Japan International Cooperation Agency (JICA). Maret 2013.
- MLIT. *Technical Guidelines and Commentary on Investigation and Countermeasures for Landslides around Reservoirs*. Water Management and Land Conservation Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan. March 2019.

SALINAN



Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

No.	Nama	Unit Kerja	
1.	Pemrakarsa	Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum	
2.	Koordinator	Ir. Hendarto, S.T., M.T., M.D.M., Ph.D.	
3.	Penyusun	Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur	
4.			Hardiansyah Putra, S.T., M.Sc.
5.			Susy Kartikasari Ariestianty, S.T., M.Sc.
6.			Desyanti, S.T., M.T.
7.			Dea Pertiwi, S.T., M.T.
8.			Ahmad Numan, S.T., M.T.
9.			Yulianto, S.T.
10.			Muhammad Rizaldi Nuraulia, S.T., M.Eng.
11.			Farah Basellina Safira, S.T.
12.			Melati Ayu Novianty, S.T.
13.			Anggit Dwi Nafisah, S.T.
14.			Hisyam Gusman Sugarda, S.T.
15.			Riandani Hendriawan
16.			HI-TEC, Inc. Jepang
17.	Yoshiki Yamamoto		
18.	Chunze Piao		
19.	Randa Permada		
20.	Yosushi Momose		
21.	Masuya Tadashi		
22.	Taketo Ikeda		
23.	Editor Naskah	Subdirektorat Teknologi dan Peralatan Infrastruktur Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan	



Lampiran A

(Informatif)

Lokasi Uji Coba Metode Pengeboran Hibrida

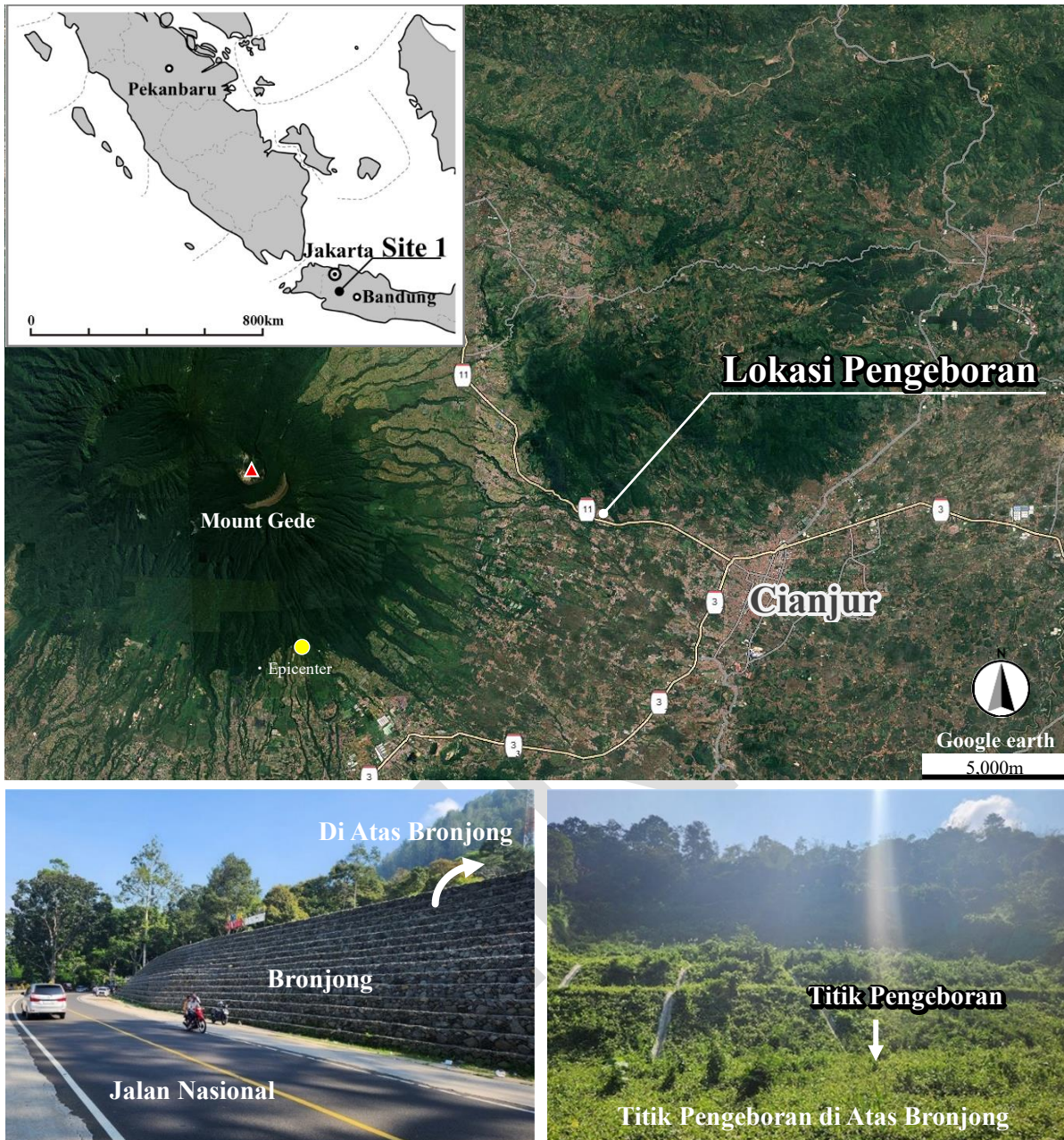
A.1 Lokasi 1: Cianjur Puncak-Longsor pada Endapan Vulkanik Kuarter

A.1.1 Latar Belakang

Lokasi pengeboran hibrida terletak di daerah pegunungan di sepanjang Jalan Nasional 11, sekitar 7 km sebelah timur kota Cianjur, Jawa Barat, yang merupakan lokasi terjadinya longsor besar akibat gempa bumi berkekuatan 5,6 magnitudo pada tanggal 21 November 2022 (lihat Gambar A-1). Longsor tersebut menutup jalan dan mengubur beberapa rumah, mengakibatkan 268 (dua ratus enam puluh delapan) korban jiwa.

Pengeboran konvensional telah dilakukan di lokasi longsor, dan jalan raya dibuka kembali dengan langkah-langkah struktural seperti pekerjaan drainase, timbunan tanah, dan pemasangan bronjong (gabion). Namun, kedalaman longsor yang sebenarnya tidak dapat dipastikan berdasarkan hasil pengeboran konvensional sehingga kemungkinan longsor tersebut lebih dalam atau lebih luas dari yang diperkirakan.

Oleh karena itu, pengeboran hibrida dilakukan untuk mengidentifikasi kedalaman longsor dan menyediakan data geologi guna mengevaluasi efektivitas langkah-langkah struktural yang telah dilakukan. Pengeboran konvensional dilaksanakan di titik yang berdekatan dengan titik pengeboran hibrida untuk membandingkan hasil antara kedua metode tersebut.



Gambar A-1 Peta lokasi site 1 (Jalan Nasional 11 di Cianjur Puncak Area)

A.1.2 Hasil Pengeboran Hibrida dan Perbandingan dengan Pengeboran Konvensional

Hasil dari pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional dirangkum dalam Tabel A-1. Inti bor menerus yang diperoleh melalui metode pengeboran hibrida ditampilkan dalam Tabel A-2. Batas-batas geologis antara material timbunan, endapan talus, dan batuan dasar andesit dapat diidentifikasi dengan jelas melalui pengeboran hibrida, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel A-3. Batuan andesit tersebut selanjutnya dibedakan menjadi bagian masif dan bagian yang mengalami auto-breksiasi, dengan zona retakan kecil yang juga berhasil diidentifikasi. Sebaliknya, pada inti bor yang diperoleh melalui pengeboran konvensional, batas-batas geologi tidak terlihat jelas, *fault gouge* (material lunak akibat geseran) hilang, dan bagian andesit yang mengalami auto-breksiasi mengalami retakan secara mekanis. Inti bor dari



pengeboran konvensional memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi batuan yang sebenarnya, dan bagian-bagian yang hilang pada inti bor dapat disalahartikan sebagai bidang gelincir longsor, padahal sebenarnya merupakan zona retakan atau bagian yang mengalami auto-breksiasi.

Tabel A-1 Ringkasan perbandingan antara pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

<i>Item</i>	Deskripsi	
Lokasi	Jalan Nasional 11 di Cianjur Puncak, Provinsi Jawa Barat	
Topografi	Area Pegunungan perhutanan dan rerumputan	
Geologi	Breksi andesit kuarter yang berselingan dengan lava andesit	
Formasi batuan	Metode pengeboran hibrida (diameter 86 mm)	Metode pengeboran konvensional (diameter 66 mm)
0 m s.d. 1,6 m Tanah	Pemulihan inti: 100% Gangguan inti sangat minimal.	Pemulihan inti: 60%–70% Sepenuhnya terganggu.
1,6 m s.d. 13,2 m Batuan yang sangat terlapukkan	Pemulihan inti: 100% Gangguan inti sangat minimal.	Pemulihan inti: 30%–70% Sepenuhnya terganggu. Bagian yang relatif keras berhasil diperoleh dalam bentuk inti silinder.
13,2 m s.d. 29,0 m Batuan dengan pelapukan sedang hingga ringan disertai retakan tidak beraturan dan zona patahan	Pemulihan inti: 100% Gangguan inti sangat minimal. Relatif masif. Sambungan kasar hingga agak kasar dengan lapisan tipis berwarna cokelat. Material <i>fault gouge</i> dan bagian yang terbreksiasi berhasil diperoleh. Retakan memiliki kemiringan 65–75 derajat.	Pemulihan inti: 60%–90% Bagian yang relatif keras dan masif berhasil diperoleh dalam bentuk inti silinder. Namun, material <i>fault gouge</i> hilang dan bagian yang terbreksiasi mengalami keretakan.
29,0 m s.d. 41,7 m Batuan dengan tingkat pelapukan sedang hingga ringan, memiliki retakan tidak beraturan dan zona rekahan.	Pemulihan inti: 100% Gangguan inti sangat minimal. Material <i>fault gouge</i> dan bagian yang terbreksiasi berhasil diperoleh. Terdapat retakan pada kedalaman 29,8 m dengan kemiringan 65 derajat.	Pemulihan inti: 30%–70% Beberapa bagian yang keras dan masif berhasil diperoleh dalam bentuk inti silinder. Namun, material <i>fault gouge</i> hilang dan banyak bagian yang terbreksiasi mengalami keretakan.






<i>Item</i>	Deskripsi	
Lokasi	Jalan Nasional 11 di Cianjur Puncak, Provinsi Jawa Barat	
Topografi	Area Pegunungan perhutanan dan rerumputan	
Geologi	Breksi andesit kuarter yang berselingan dengan lava andesit	
Formasi batuan	Metode pengeboran hibrida (diameter 86 mm)	Metode pengeboran konvensional (diameter 66 mm)
41,7 m s.d. 50,0 m Batuan yang sangat terlapukkan	Pemulihan inti: 100% Gangguan inti sangat minimal. Bagian rapuh dari lava andesit yang mengalami auto-breksiasi berhasil diperoleh sepenuhnya tanpa kehilangan sampel. 46,45 m – 46,90 m: Teroksidasi kuat, kemungkinan menandai batas dari satuan lava andesit.	Pemulihan inti: 50%–80% Sejumlah besar bagian yang rapuh hilang. Kedalaman akhir pengeboran konvensional adalah 44 meter.

Tabel A-2 Perbandingan inti bor yang diperoleh dari pengeboran hibrida dan konvensional

Metode Pengeboran Hibrida (L = 50,0 m)	Metode Pengeboran Konvensional (L = 44,0 m)
<p>Project Name: Verification Survey for Hybrid Drilling Method Location: No.2, Cianjur, Depth: 0.00m ~ 50.00m Company Name: HI-TEC Inc.</p> <p>Depth (m): 0 to 50</p> <p>Length 1.00 m</p>	<p>PROJECT: SDGs BUSINESS VERIFICATION SURVEY WITH THE PRIVATE SECTOR FOR HYBRID DRILLING METHOD (GEOLOGY SURVEY TECHNOLOGY) LOCATION: CIANJUR WAD TOLL ROAD POINT NO.: DB-02 (PS) DATE: JULY 13th, 2024 - JULY 25th, 2024 (R 4th, 2024)</p> <p>Depth (m): 0 to 44</p> <p>Length 1.00 m</p> <p>Catatan: Pengeboran inti dihentikan pada kedalaman 44 meter karena gaya reaksi dari perancah mesin bor tidak mencukupi.</p>

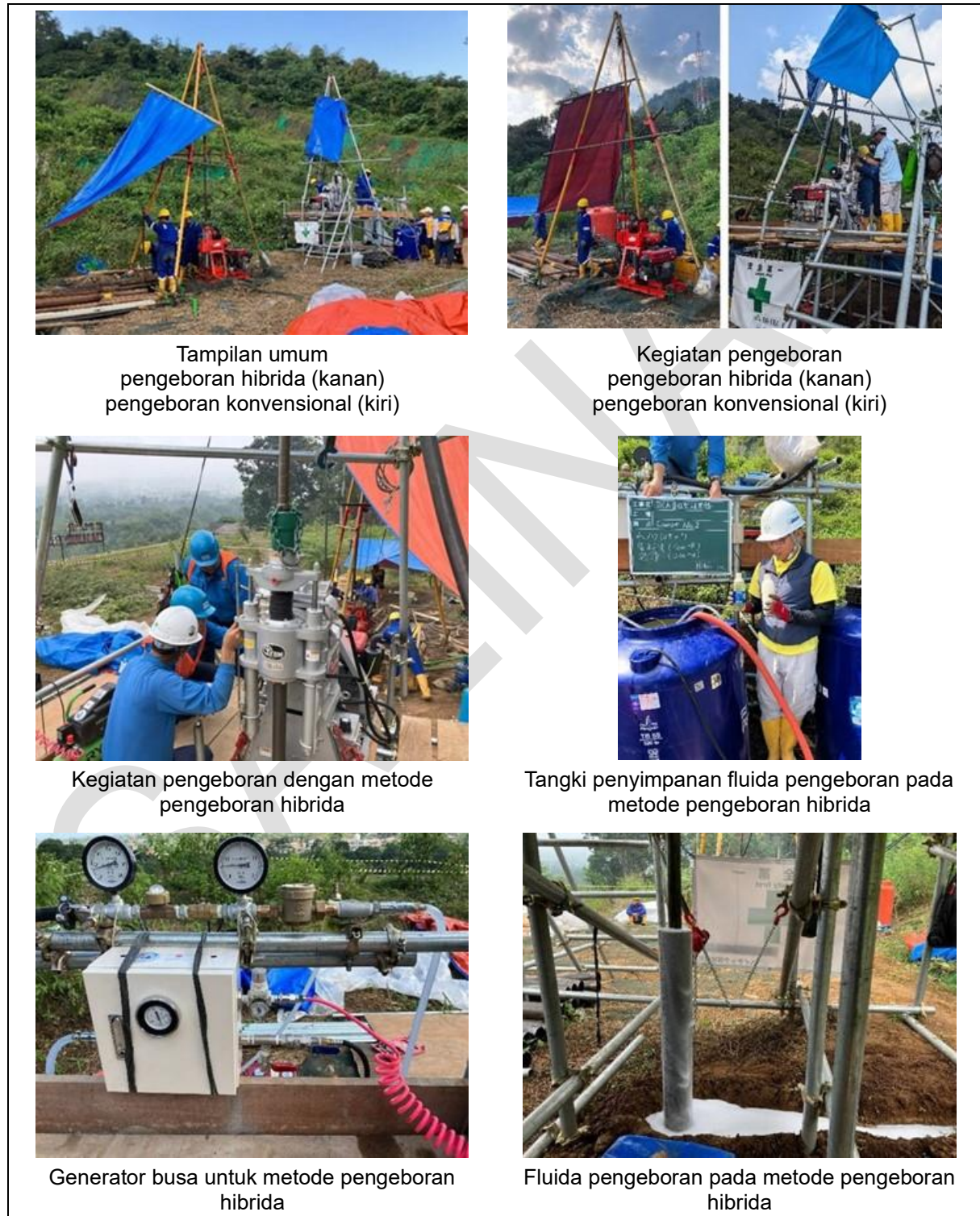


Tabel A-3 Foto *close-up* inti bor dari pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

Batas geologis pada inti bor pada kedalaman 0 m s.d. 8 m	
Metode pengeboran hibrida	Uraian/karakteristik
	<p>a) Batas antara timbunan (endapan buatan) dan endapan talus (endapan alami) dapat diamati dengan jelas.</p> <p>b) Batas antara endapan talus (endapan alami) dan lava andesit auto-breksiasi (endapan alami) juga dapat diamati dengan jelas.</p> <p>Struktur geologi serta kondisi sambungan dan retakan, seperti kekasaran, kemiringan, dan material yang tersisip di antaranya, terlihat dengan jelas.</p>
Metode pengeboran konvensional	Uraian/karakteristik
	<p>Batas geologis antara timbunan, endapan talus, dan lava andesit auto-breksiasi tidak terlihat jelas.</p> <p>Tanah dan batuan yang sangat lapuk dibor tanpa sirkulasi air, sehingga mengalami gangguan total.</p> <p>Struktur geologi dan retakan tidak dapat diidentifikasi.</p>
Batas satuan lava andesit teramati pada inti bor antara kedalaman 46 m s.d. 47 m	
Metode pengeboran hibrida	Uraian/karakteristik
	<p>46,45 m s.d. 46,90 m: Teroksidasi kuat, kemungkinan merupakan batas antarsatuan lava andesit.</p>
Metode pengeboran konvensional	Uraian/karakteristik
<p>Tidak ada inti bor</p>	<p>Pengeboran inti dihentikan pada kedalaman 44 m karena gaya reaksi dari perancah mesin bor tidak mencukupi.</p>

A.1.3 Pekerjaan Pengeboran

Metode pengeboran hibrida menunjukkan kinerja yang sangat baik, dengan pencapaian pemulihan inti 100% dan gangguan inti yang sangat minimal. Metode ini sangat cocok untuk penyelidikan longsor pada endapan vulkanik kuartar, seperti di wilayah Puncak, Cianjur. Foto-foto kegiatan pengeboran ditampilkan pada Gambar A-2.



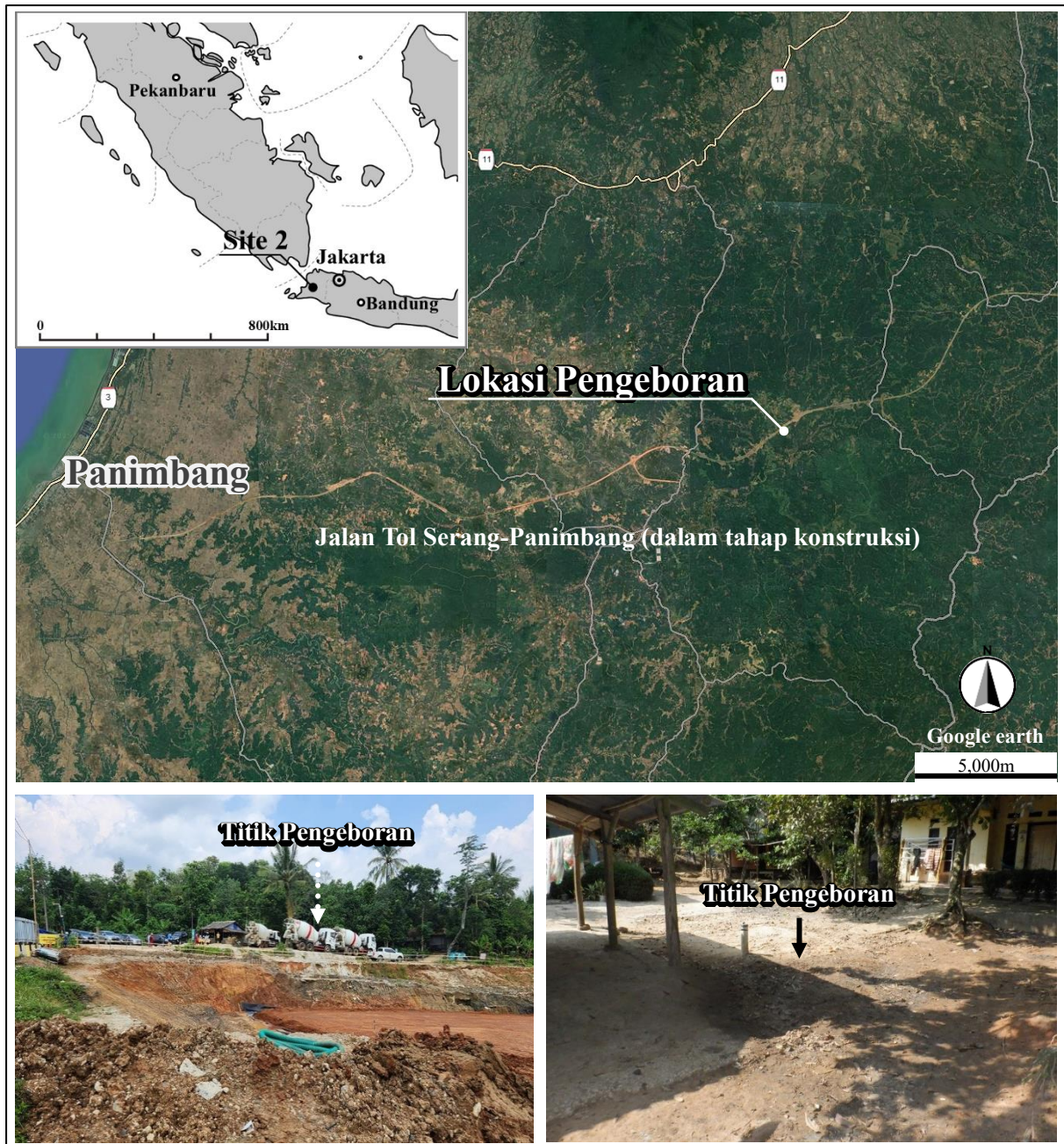
Gambar A-2 Foto saat pekerjaan pengeboran di area Puncak, Cianjur



A.2 Lokasi 2: Tol Serang–Panimbang – Sesar dan Bidang Gelincir pada *Shale* Lempungan Tersier

A.2.1 Latar Belakang

Lokasi pengeboran berada di area longsor pada daerah perbukitan landai, di tepi jalan Tol Serang–Panimbang (yang sedang dibangun oleh WIKA), sekitar 25 km sebelah utara Kota Panimbang, Provinsi Banten (lihat Gambar A-3). Kedalaman longsor telah diperkirakan sebelumnya berdasarkan pemantauan dengan menggunakan inklinometer. Namun, bidang gelincir tidak teridentifikasi melalui inti bor dari pengeboran konvensional. Metode pengeboran hibrida kemudian dilakukan untuk mengidentifikasi bidang gelincir tersebut, dan metode pengeboran konvensional juga dilakukan di titik yang berdekatan untuk membandingkan hasil antara kedua metode.



Gambar A-3 Lokasi site 2 (Jalan Tol Serang–Panimbang)

A.2.2 Hasil Pengeboran Hibrida dan Perbandingan dengan Pengeboran Konvensional

Hasil dari pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional dirangkum dalam Tabel A-4.

Inti bor menerus yang diperoleh melalui metode pengeboran hibrida ditampilkan dalam Tabel A-5. Badan longsor dan bidang gelincir berhasil diidentifikasi pada inti bor, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel A-6.

Sebaliknya, pada inti bor yang diperoleh melalui pengeboran konvensional, kedalaman bidang gelincir tidak terlihat jelas dan badan longsor mengalami gangguan yang sangat besar.

Tabel A-4 Resume perbandingan antara pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

<i>Item</i>	Deskripsi	
Lokasi	Lokasi Konstruksi Jalan Tol Serang–Panimbang	
Topografi	Daerah perbukitan landai dan permukiman	
Geologi	Batu lempung tersier yang berselingan dengan batupasir dan batugamping dari Formasi Bojongmanik. Batu lempung ini memiliki sifat mengembang dan menyusut.	
Kondisi batuan	Metode pengeboran hibrida (diameter 86 mm)	Metode pengeboran konvensional (diameter 66 mm)
Badan longsor di atas bidang gelincir	Pemulihan inti: 100% Gangguan inti sangat minimal. Teramati badan longsor yang kompleks, terganggu akibat pergerakan longsor.	Pemulihan inti: 60%–90% Bagian yang relatif keras dan masif berhasil diperoleh dalam bentuk inti silinder. Namun, sebagian besar bagian yang lunak mengalami gangguan total.
Bidang gelincir (9,77 m s.d. 10,02 m)	Pemulihan inti: 100% Gangguan inti sangat minimal. Bidang gelincir dengan Bidang Gelincir (<i>slickenside</i>) terlihat jelas. Kedalaman dan kemiringan bidang gelincir berhasil diidentifikasi secara akurat.	Pemulihan inti: 80% Inti sepenuhnya terganggu. Bidang gelincir tidak dapat diidentifikasi pada inti bor.
Massa batuan stabil di bawah bidang gelincir	Pemulihan inti: 100% Cangkang lempung dengan lamina dan fosil kerang laut dapat diambil tanpa gangguan. Struktur detail dari batulempung dapat diamati dengan jelas.	Pemulihan inti: 95%–100% Cangkang lempung dapat diambil; namun, struktur detail tidak dapat diamati. Beberapa retakan akibat proses pengambilan sampel sering terlihat.








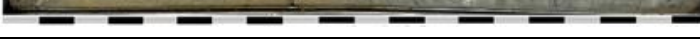








Catatan: Kondisi batuan pada tabel di atas berdasarkan hasil pengeboran hibrida.


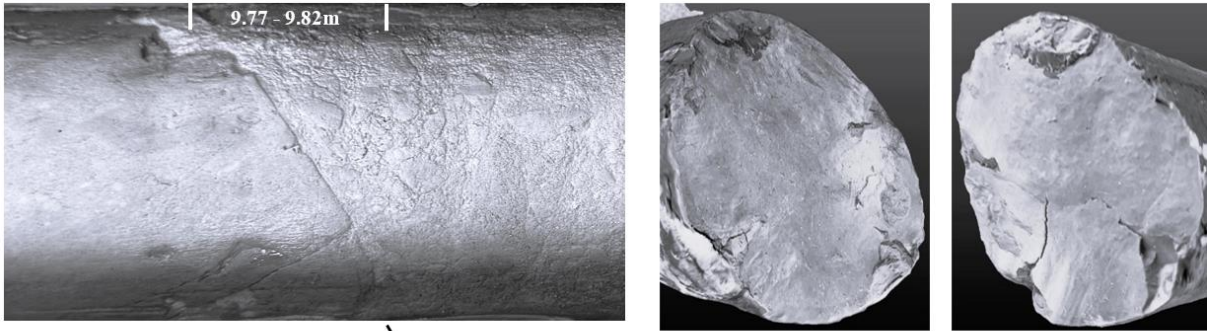
Tabel A-5 Komparasi inti metode pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

Metode pengeboran hibrida (L = 50,0 m)		Metode pengeboran konvensional (L = 50,0 m)	
0	1	0	1
1	2	1	2
2	3	2	3
3	4	3	4
4	5	4	5
5	6	5	6
6	7	6	7
7	8	7	8
8	9	8	9
9	10	9	10
10	11	10	11
11	12	11	12
12	13	12	13
13	14	13	14
14	15	14	15
15	16	15	16
16	17	16	17
17	18	17	18
18	19	18	19
19	20	19	20
20	21	20	21
21	22	21	22
22	23	22	23
23	24	23	24
24	25	24	25
25	26	25	26
26	27	26	27
27	28	27	28
28	29	28	29
29	30	29	30
30	31	30	31
31	32	31	32
32	33	32	33
33	34	33	34
34	35	34	35
35	36	35	36
36	37	36	37
37	38	37	38
38	39	38	39
39	40	39	40
40	41	40	41
41	42	41	42
42	43	42	43
43	44	43	44
44	45	44	45
45	46	45	46
46	47	46	47
47	48	47	48
48	49	48	49
49	50	49	50



Tabel A-6 Foto *close-up* inti dari metode pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

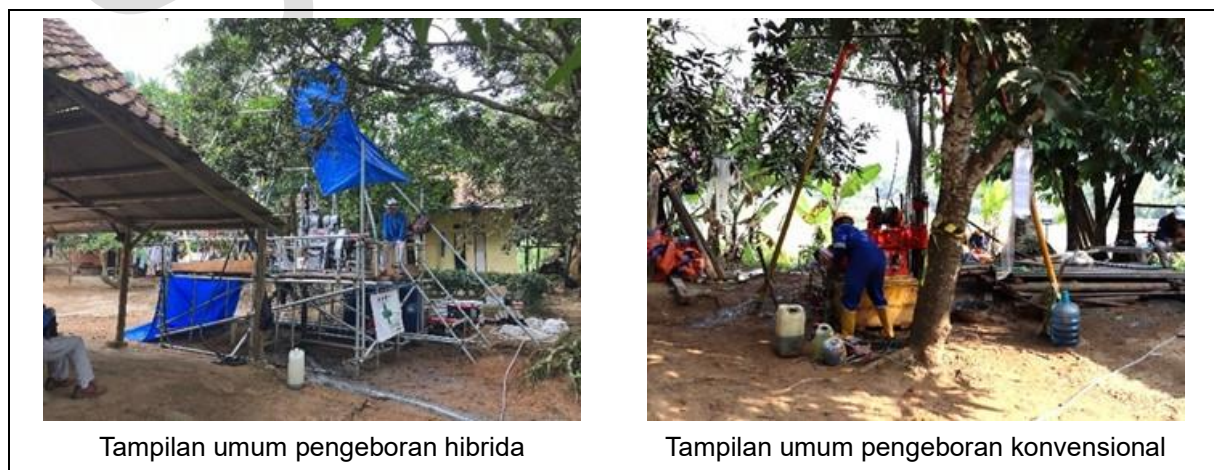
Batas geologis pada inti bor pada kedalaman 2 m s.d. 9 m		
Metode pengeboran hibrida		Uraian/karakteristik
2		<p>Badan longsor dapat diambil dengan gangguan yang sangat minimal.</p> <p>Struktur kompleks dalam badan longsor berhasil diamati. Kondisi retakan dapat dievaluasi dengan baik.</p>
3		
4		
5		
6		
7		
8		
8		
Metode pengeboran konvensional		Uraian/karakteristik
2		<p>Badan longsor mengalami gangguan dan retakan secara mekanis akibat pengeboran konvensional.</p> <p>Kondisi retakan tidak dapat dievaluasi.</p>
3		
4		
5		
6		
7		
8		
8		

Bidang gelincir longsoran pada inti bor antara kedalaman 9,77 m s.d. 10,02 m	
Metode pengeboran hibrida	Uraian/karakteristik
<p>Campuran batuan lunak dan keras yang terganggu akibat pergerakan longsor.</p> 	<p>Bidang gelincir (<i>slickenside</i>) dan struktur linier dari bidang gelincir berhasil diambil dan diamati.</p> <p>Struktur kompleks dari batuan lunak dan keras yang terganggu akibat longsor dapat diamati pada inti bor.</p> <p>Kedalaman dan kemiringan bidang gelincir dapat diidentifikasi dengan jelas.</p>
 <p style="text-align: center;">Bidang Gelincir</p>	

A.2.3 Pekerjaan Pengeboran

Metode pengeboran hibrida menunjukkan kinerja yang sangat baik, dengan pencapaian pemulihan inti 100% dan gangguan inti yang sangat minimal. Metode pengeboran hibrida ini sangat cocok untuk penyelidikan longsor pada batu lempung serpih tersier, seperti di lokasi Jalan Tol Serang–Panimbang.

Foto-foto kegiatan pengeboran ditampilkan pada Gambar A-4.





Pekerjaan pengeboran dengan metode pengeboran hibrida



Inti bor dengan metode pengeboran hibrida



Fluida pada metode pengeboran hibrida



Konfirmasi bidang gelincir pada inti bor yang diambil dengan metode pengeboran hibrida

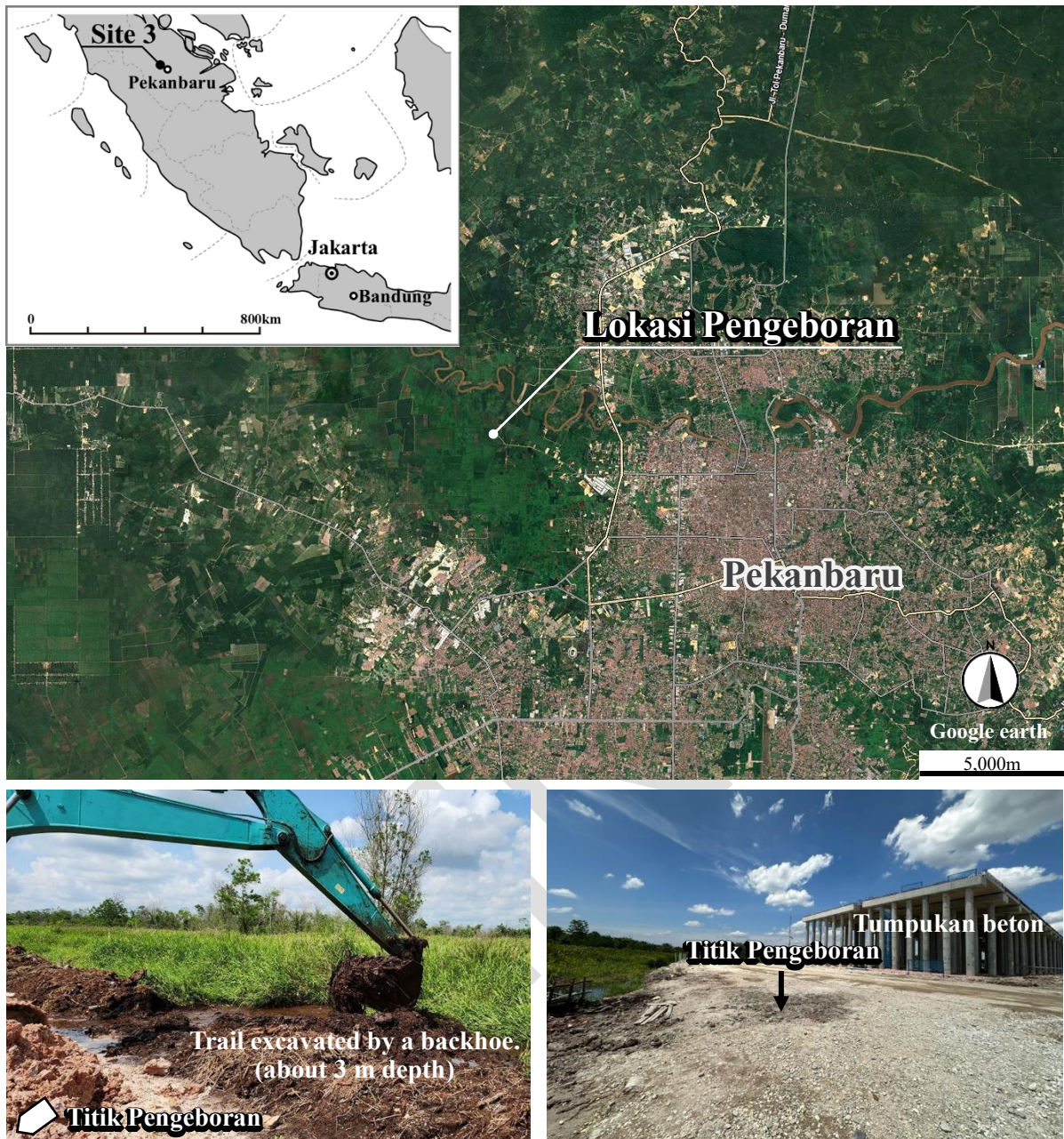
Gambar A-4 Foto kegiatan pengeboran di lokasi Jalan Tol Serang–Panimbang

A.3 Lokasi 3: Jalan Tol Lingkar Pekanbaru – Lapisan Gambut Kuarter

A.3.1 Latar Belakang

Lokasi pengeboran berada di area rawa yang luas di sepanjang Jalan Tol Lingkar Pekanbaru (yang sedang dibangun oleh Hutama Karya), sekitar 25 km barat laut Kota Pekanbaru, Provinsi Riau (lihat Gambar A-5). Lapisan gambut tebal ditemukan di area rawa tersebut. Lapisan gambut ini sangat lemah dan memiliki kandungan air yang tinggi sehingga tidak cocok digunakan sebagai fondasi jalan tol karena daya dukungnya yang rendah yang dapat menyebabkan penurunan tanah. Secara umum, tanah lemah memberikan banyak tantangan dalam pembangunan dan pemeliharaan jalan tol. Namun, sangat sulit untuk memperoleh inti bor dari lapisan gambut menggunakan metode pengeboran konvensional.

Oleh karena itu, metode pengeboran hibrida dilakukan untuk mengonfirmasi kondisi lapisan gambut, dan pengeboran konvensional juga dilakukan di titik yang berdekatan untuk membandingkan hasilnya.



Gambar A-5 Lokasi site 3 (Jalan Tol Lingkar Pekanbaru)

A.3.2 Hasil Pengeboran Hibrida dan Perbandingan dengan Pengeboran Konvensional

Hasil dari pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional dirangkum dalam Tabel A-7. Inti bor menerus yang diperoleh melalui metode pengeboran hibrida ditampilkan dalam Tabel A-8. Inti bor dari lapisan gambut dengan gangguan yang sangat minimal berhasil diperoleh, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel A-9. Sebaliknya, inti bor yang diperoleh melalui pengeboran konvensional mengalami gangguan yang sangat besar.



Tabel A-7 Ringkasan perbandingan antara metode pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

Item	Deskripsi	
Lokasi	Lingkar Pekanbaru Lokasi Konstruksi Jalan Tol, Pekanbaru, Provinsi Riau	
Topografi	Lahan datar (daerah rawa)	
Geologi	Endapan Aluvial (kerikil, pasir, lempung, gambut, dan bahan organik)	
Kondisi Geologi	Metode Pengeboran Hibrida (diameter 86 mm)	Metode Pengeboran Konvensional (diameter 66 mm)
Lapisan gambut dan material organik*	<p>Pemulihan inti: 100%</p> <p>Gangguan inti sangat minimal.</p> <p>Deskripsi: Inti dalam bentuk silinder berhasil diambil sehingga cocok untuk pengujian di laboratorium.</p>	<p>Pemulihan inti: 70%</p> <p>Deskripsi: Lapisan gambut berhasil diperoleh; Namun, mengalami gangguan total dan beberapa bagian hilang.</p>
Pasir sangat lepas	<p>Inti utuh dari pasir yang sangat lepas di bawah lapisan gambut tidak dapat diperoleh dengan kedua metode pengeboran.</p> <p>Pasir sempat tertampung dalam tabung inti, tetapi jatuh saat proses pengangkatan tabung inti.</p> <p>Inti pada kedalaman 15 m hingga 17 m dikumpulkan dari cairan pengeboran. Oleh karena itu, sampel tersebut bersifat terganggu, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3-3.</p>	

* Gambut memiliki kandungan air yang tinggi. Oleh karena itu, deformasi dan pemadatan sangat mudah terjadi saat inti bor diambil. Selain itu, gambut tersusun dari serat organik ringan, memiliki kerapatan yang sangat rendah, serta porositas yang tinggi sehingga pengambilan inti bor menjadi sangat sulit.

Tabel A-8 Perbandingan inti yang didapat dari metode pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

Metode pengeboran hibrida (L = 50,0 m)	Metode pengeboran konvensional (L = 44 m)
<div data-bbox="311 338 715 450"> <p>Project Name: Verification Survey for Hybrid Drilling Method Location: No.3 Pekanbaru Depth: 00.00m ~ 50.00m Company Name: HI-TFC Inc.</p> </div> <div data-bbox="272 412 715 1980"> <p>Depth (m)</p> <p>Length 1.00 m</p> </div>	<div data-bbox="954 338 1284 450"> <p>PROJECT: SDGx BUSINESS VERIFICATION SURVEY WITH THE PRIVATE SECTOR FOR HYBRID DRILLING METHOD (GEOLOGY SURVEY TECHNOLOGY) LOCATION: PEKANBARU RING ROAD TOLL ROAD POINT NO.: 06-03 (PS) DATE: SEPTEMBER 27th, 2024 - OCTOBER 4th, 2024</p> </div> <div data-bbox="906 412 1284 1980"> <p>Depth (m)</p> <p>Length 1.00 m</p> </div>



Tabel A-9 Foto *close-up* inti bor dari metode pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

Kondisi lapisan gambut pada inti bor pada kedalaman antara 0 m s.d. 8 m	
Metode pengeboran hibrida	Uraian/karakteristik
	<p>Inti bor dengan gangguan minimal berhasil diambil menggunakan metode pengeboran hibrida. Inti berbentuk silinder berhasil dikumpulkan dan dapat digunakan untuk pengujian di laboratorium.</p>
Metode pengeboran konvensional	Uraian/karakteristik
	<p>Lapisan gambut berhasil diambil. Namun, pasir dan lanau yang terdapat di dalam lapisan tersebut terbawa aliran selama pengeboran, sehingga inti yang diambil mengalami gangguan dan tidak dapat mempertahankan bentuk silindernya.</p>
Pasir sangat lepas pada inti bor pada kedalaman antara 15 m s.d. 17 m	
Metode pengeboran hibrida	Uraian/karakteristik
	<p>Inti bor dari lapisan pasir yang sangat lepas dan terseleksi baik di bawah lapisan gambut tidak dapat diperoleh dengan salah satu metode pengeboran. Beberapa bagian inti jatuh saat proses pengangkatan tabung inti.</p>
Metode pengeboran konvensional	Uraian/karakteristik
	<p>Inti yang terlihat pada foto diperoleh melalui pengeboran ulang terhadap sampel yang jatuh ke dalam lubang bor, atau sebagai potongan (<i>cuttings</i>) yang terbawa dalam cairan pengeboran.</p>

A.3.3 Pekerjaan Pengeboran

Foto-foto kegiatan pengeboran ditampilkan pada Gambar A-6. Metode pengeboran hibrida menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam memperoleh inti gambut dengan gangguan minimal, sedangkan metode pengeboran konvensional mengalami kesulitan besar dalam hal tersebut. Oleh karena itu, metode pengeboran hibrida lebih sesuai untuk memperoleh data yang akurat dalam penilaian risiko (*risk assessment*) jalan tol di wilayah gambut.

Perlu dicatat bahwa berdasarkan pengalaman di proyek Jalan Tol Lingkar Pekanbaru, air dengan kandungan organik tinggi dapat memengaruhi pembentukan gelembung, sehingga disarankan menggunakan air tawar untuk pengeboran hibrida di daerah rawa.

Selain itu, meskipun pemulihan inti pasir sangat lepas dan terseleksi baik lebih baik dengan metode pengeboran hibrida dibandingkan metode konvensional, tetap sulit untuk mendapatkan sampel yang tidak terganggu. Untuk pengambilan sampel utuh dari jenis pasir ini, metode pengeboran khusus seperti metode pembekuan (*freezing method*) direkomendasikan.



Tampilan umum pengeboran hibrida



Tampilan umum pengeboran konvensional



Pekerjaan pengeboran dengan metode pengeboran hibrida



Pekerjaan pengeboran dengan metode pengeboran hibrida



Penyimpanan fluida pengeboran untuk metode pengeboran hibrida

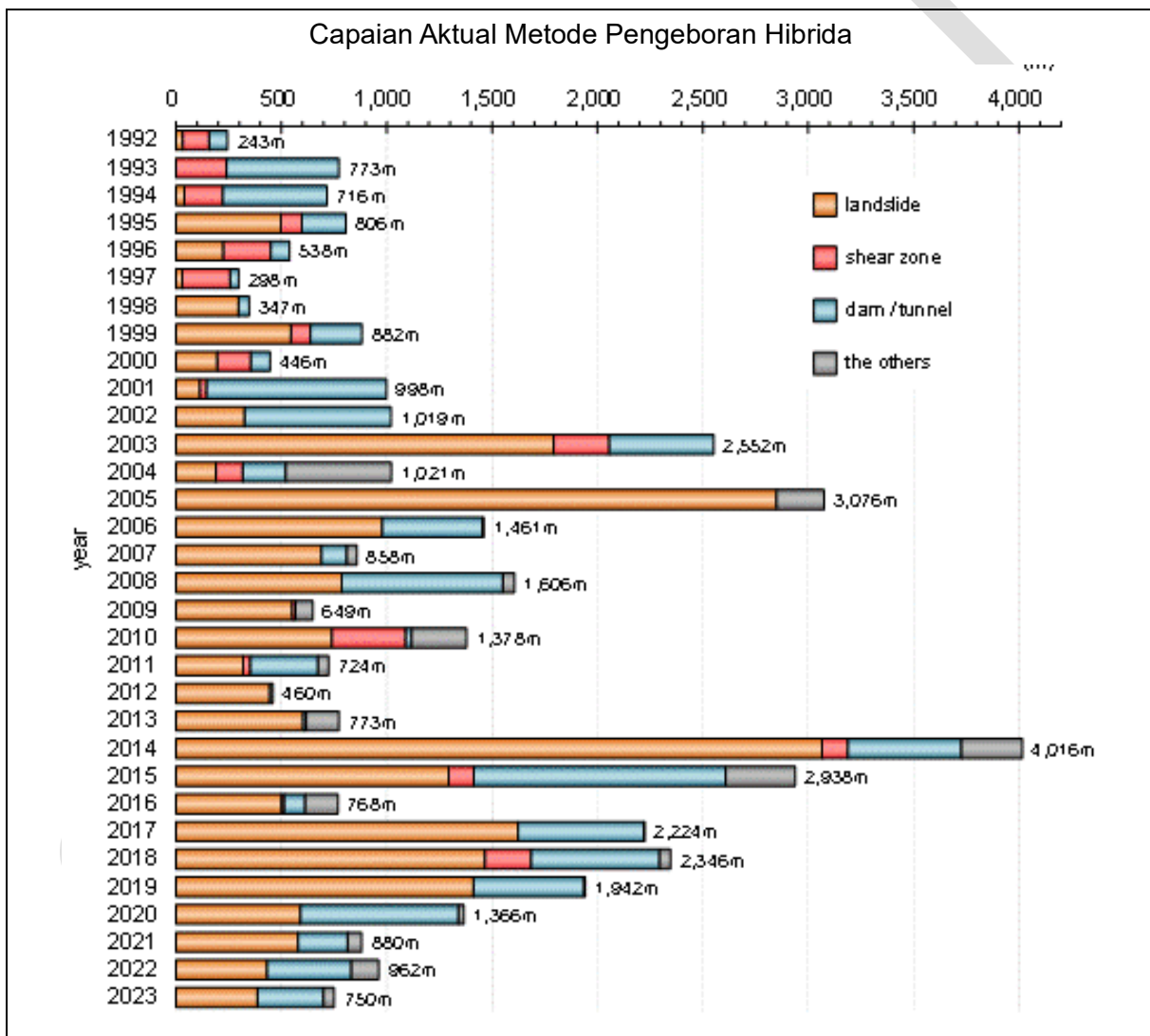


Induksi keselamatan pagi hari untuk pengeboran hibrida dan pengeboran konvensional

Gambar A-6 Foto kegiatan pengeboran di Jalan Tol Lingkar Pekanbaru

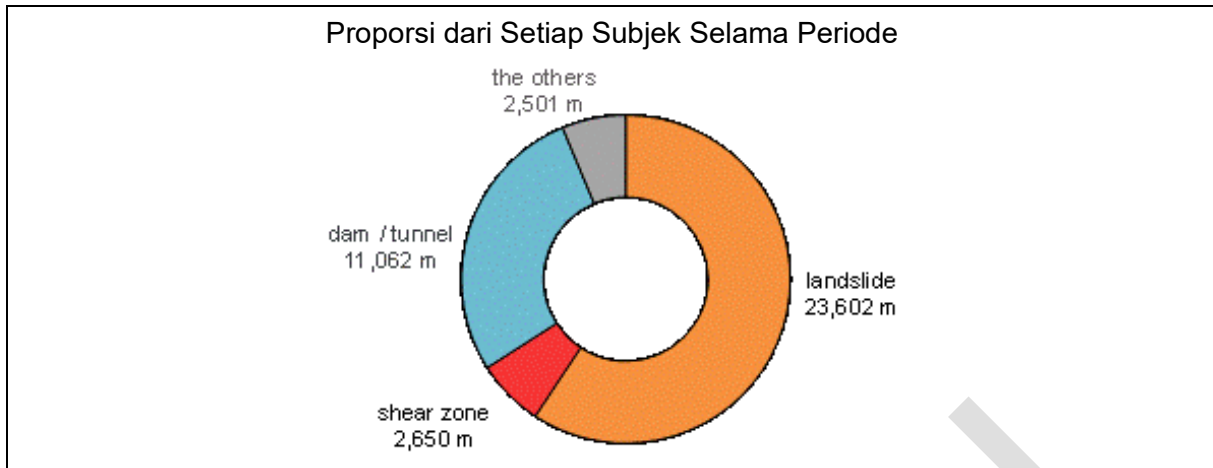
Lampiran B
(Informatif)
Rujukan

Metode pengeboran hibrida merupakan teknologi yang dikembangkan di Jepang. Kinerja metode pengeboran hibrida berdasarkan jenis yang digunakan ditunjukkan pada Gambar A-7. Sekitar 60% dari total kinerjanya digunakan untuk penyelidikan longsor.



Gambar A-7 Capaian metode pengeboran hibrida di Jepang





Gambar A-7 Capaian metode pengeboran hibrida di Jepang (lanjutan)

SALINAN



Lampiran C
(Normatif)
Guidelines for the Hybrid Drilling Method

Guidelines for the Hybrid Drilling Method merupakan pedoman metode pengeboran hibrida dalam bahasa Inggris, yang juga merupakan luaran (*output*) dari program kerja sama teknis antara Indonesia dan *Japan International Cooperation Agency* (JICA).

SALINAN



GUIDELINES FOR THE HYBRID DRILLING METHOD



MINISTRY OF PUBLIC WORKS
DIRECTORATE GENERAL OF HIGHWAYS

PREFACE

The hybrid drilling method is a technology developed to obtain high-quality core samples. In this method, compressed air is used to generate foam with the assistance of a foaming agent. The foam functions as a drilling fluid, allowing excess water pressure to be controlled, minimizing disturbance to the core, and resulting in drill cores of higher quality.

Hybrid Drilling Method Guideline—or *Pedoman Metode Pengeboran Hibrida* in Indonesian—was prepared to address the need for a more accurate field investigation method, particularly in producing high-quality core samples.

This guideline is expected to serve as a reference for all stakeholders involved in drilling activities under complex geological conditions or in areas that are difficult to access using conventional drilling methods. By applying the hybrid drilling method, the reliability of geological data can be improved, as the core samples produced have higher precision. This leads to better analysis quality, more accurate decision-making, and reduced project risk.

The preparation of this guideline was carried out by the Geotechnical, Tunnel, and Structure Division (*Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur*), under the *Official Development Assistance (ODA) Verification Survey for Hybrid Drilling Method*, a cooperation program between JICA and the Directorate General of Highways (c.q. Directorate of Road and Bridge Engineering). The development of this guideline refers to the prevailing laws and regulations. Should any errors or deficiencies be found in the future, revisions and improvements will be made accordingly.



TABLE OF CONTENTS

PREFACE.....	ii
TABLE OF CONTENTS	iii
LIST OF TABLES	v
LIST OF FIGURES.....	vi
INTRODUCTION.....	vii
1. General.....	1
1.1 Scope.....	1
1.2 Normative References	1
1.3 Definitions.....	1
1.3.1 Circulating Fluid.....	1
1.3.2 Continuous Sampling	1
1.3.3 Core Pusher.....	1
1.3.4 Foam Agent	1
1.3.5 Foam Generator	2
1.3.6 High-Quality Core	2
1.3.7 High-Quality Drilling.....	2
1.3.8 Hybrid Drilling	2
1.3.9 Muddy Fluid	2
1.3.10 Polymer-Based Fluid	2
2. General Clause	2
2.1 Features of the Hybrid Drilling Method	2
2.1.1 Situations of Use.....	3
2.1.2 Usage Benefits	3
2.2 Characteristics of a High-Quality Core	4
2.3 Recommended Geology and Soil Characteristic for the Hybrid Drilling Method	4
2.4 Investigation Plan Using Hybrid Drilling Method	5
3. Technical Clause	6
3.1 Overview of the Hybrid Drilling Method	6
3.1.1 Types of High-Quality Drilled Core Collecting Method	6
3.1.2 Principle of the Hybrid Drilling Method.....	6
3.2 Materials and Equipment Used for Hybrid Drilling.....	7
3.2.1 Composition of Equipment for Hybrid Drilling	7
3.2.2 Drilling Machine	8
3.2.3 Drilling Bit.....	8
3.2.4 Core Barrel	9
3.2.5 Foam Generator	9



3.2.6 Core Pusher.....	10
3.2.7 Split PVC Pipe	11
3.2.8 PE Sleeve	11
3.2.9 Core Cleaning Tools	12
3.3 Procedure of the Hybrid Drilling Method.....	13
3.4 Preparation Work for Drilling	13
3.4.1 Site Reconnaissance.....	13
3.4.2 Work Plan Preparation	14
3.4.3 Topographic Survey.....	14
3.4.4 Transportation.....	14
3.4.5 Temporary Structures	14
3.5 Drilling and Coring.....	15
3.5.1 Installation of Drilling Equipment.....	15
3.5.2 Drilling Method.....	17
3.5.3 Core Barrel Type of Use.....	19
3.5.4 Foam Agent and Polymer Concentration Adjustment in the Drilling Water ...	22
3.6 Handling of Cores.....	23
3.6.1 Handling and Management of Samples at the Site	23
3.6.2 Points to Note When Transporting Samples	23
3.6.3 Points to Note When Storing Cores	24
3.7 Evaluation and Use of Drilled Core by Hybrid Drilling Method.....	24
3.7.1 Sample Cleaning	24
3.7.2 Taking of Core Photographs.....	25

Appendices

1. Site 1: Cianjur Puncak Area – A Landslide in Quaternary Volcanic Deposits
2. Site 2: Serang-Panimbang Toll Road – Faults and Sliding Planes in Tertiary Clayey Shale
3. Site 3: Lingkar Pekanbaru Toll Road – Quaternary Peat Layer
4. References



LIST OF TABLES

Table 1 - Drilling methods in hybrid drilling	18
Table 2 - Coring tools and methods	20

SALINAN



LIST OF FIGURES

Figure 1 - Comparative image of core quality by hybrid method (top) and conventional method (bottom)	7
Figure 2 - Composition of equipment for hybrid drilling	8
Figure 3 - Typical structure of single-tube type	9
Figure 4 - Typical structure of double-tube type	9
Figure 5 - Typical structure of double-tube swivel-type	9
Figure 6 - Typical structure of triple-tube type	9
Figure 7 - Sight glass with spinner	10
Figure 8 - Core pusher	10
Figure 9 - Split PVC pipe	11
Figure 10 - PE sleeve	12
Figure 11 - Procedure of the hybrid drilling method	13
Figure 12 - Photograph of pump setting	16
Figure 13 - Photograph of foam agent and polymer mixture	16
Figure 14 - Core-lifter and PE sleeve setting	17
Figure 15 - Image of the standard double-core barrel	21
Figure 16 - Image of the standard triple-core barrel	21
Figure 17 - Foam generation using standard formulation	22
Figure 18 - PE sleeve striping	24
Figure 19 - Cleaning the surface of the cores	25



INTRODUCTION

Geotechnical investigation is a critical stage in the planning, design, and implementation of infrastructure, particularly for road and bridge projects. The accuracy of subsurface data greatly influences the quality of technical calculations, design efficiency, and risk management during both construction and operational phases. One of the most crucial data sources in geotechnical investigation is core samples, as intact samples provide comprehensive information regarding geological conditions, soil and rock stratigraphy, as well as subsurface mechanical characteristics.

In Indonesia, geotechnical challenges frequently arise due to complex or hard-to-access geological conditions, as well as the limitations of conventional drilling methods in maintaining core sample quality. Conventional drilling often causes disturbance to the samples or contamination by drilling mud, which may reduce data reliability and potentially affect the accuracy of analysis and decision-making.

The hybrid drilling method was developed as a solution to these issues. This technology utilizes compressed air and foam as the drilling fluid to control pore-water pressure, minimize disturbance to the samples, and preserve the drill core as closely as possible to its original condition. By improving core quality, the method can provide more precise geotechnical data, thereby increasing investigation effectiveness, reducing project risks, and minimizing design adjustment costs during the construction phase.

This guideline is prepared as a reference for field practitioners to ensure that the application of the hybrid drilling method can be carried out in a standardized, consistent, and safe manner, so that geotechnical investigation results become more reliable in supporting technical decision-making for national infrastructure projects.



substance is widely used as a household detergent.

1.3.5 Foam Generator

A device that adds air foam to the drilling fluid, improving fluid properties and drilling efficiency.

1.3.6 High-Quality Core

A core obtained during a geological investigation with clear detail and high reliability for analyzing geological strata. It is synonymous with a “less disturbed core”.

1.3.7 High-Quality Drilling

High-quality drilling is a method used to obtain a columnar drilling core in a geologically complex excavation target, such as those characterized by a fault zone, landslide soil mass, dense fracture zone, or mixed hard-soft zone. This method controls the outflow of soft and fine grains from the borehole core in a near-in-situ condition to enable the observation or testing of high-quality borehole cores. A series of drilling operations to obtain a high-quality borehole core is called “high-quality drilling”. High-quality drilling is often employed in the detailed investigation stage, including the investigation of critical structures such as dams, landslide investigations, or tunnels.

1.3.8 Hybrid Drilling

Hybrid drilling is a combined drilling method in which the drilling fluid can be switched according to the geological conditions.

Hybrid drilling is a technology developed for the purpose of extracting high-quality cores. It uses compressed air to generate foams from a foam agent, which are then used as drilling fluid. By using foams as the drilling fluid, excessive water pressure can be avoided, and high-quality cores with less turbulence can be obtained.

1.3.9 Muddy Fluid

Circulating water mixed with 7-10% bentonite, which is a general circulating fluid with good slime sedimentation prevention and mud wall formation properties.

1.3.10 Polymer-Based Fluid

Polymer-based thickening muddy water agents, such as carboxymethyl cellulose (CMC) or acrylic polymer-based agents, are added to the circulating fluid.

2. General Clause

2.1 Features of the Hybrid Drilling Method

The hybrid drilling method is a technology developed for obtaining high-quality cores. It uses



compressed air to generate foam with a foaming agent, which then functions as the drilling fluid during borehole drilling. By using foams as the drilling fluid, excessive water pressure can be avoided, and high-quality cores can be obtained without turbulence. In addition, the system uses a liquid feed pump and foam-generating nozzles to eject the foam agent into the bypass pipe. This enables a stable supply of high-density foam and precise control of the foam feeding pressure. With this system, not only is the quality of cores improved, but it also allows them to be used for landslide investigations (bedrock landslides), dam investigations (fault fracture zones, alteration zones), tunnel investigations, and laboratory test sample collection (embankments, poorly consolidated ground, cliff cone deposits), which are typically difficult for core collection.

The main features of the hybrid drilling method are the following:

- a. Less disturbed soil cores can be continuously collected by geological survey and be used as samples for soil tests.
- b. Cores are often obtained under varying geological conditions that are difficult to collect by conventional drilling methods.

2.1.1 Situations of Use

1) Precise Geological Investigation:

Hybrid drilling is suitable when a detailed analysis and characterization of geological strata are required. For example, in landslide areas, it is essential to accurately determine the location of the slip surface.

2) Important Infrastructure Construction:

Projects where structural safety is particularly important-such as bridges, dams, and high-rise buildings-require high-quality samples. An accurate understanding of the ground conditions is directly related to the safety and reliability of the construction work.

2.1.2 Usage Benefits

1) Data Reliability:

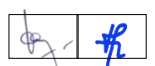
Hybrid drilling increases the reliability of geological data because cores are taken with a higher degree of precision. This improves the quality of decision-making and reduces project risk.

2) Cost-Effectiveness:

The initial investment can be high, but it may result in long-term cost savings due to reduced uncertainty in subsequent surveys and construction.

3) Technical Advantages:

Hybrid drilling uses specialized equipment and techniques. Thus, the most appropriate method can be selected based on geological conditions. This allows for efficient and effective sampling.



4) Detailed Understanding of Geological Characteristics:

By collecting high-quality cores, the composition and physical properties of the strata can be analyzed in detail, and a deeper understanding of the geological characteristics can be obtained.

2.2 Characteristics of a High-Quality Core

The criteria for defining high-quality cores in geological and geotechnical studies typically include:

Physical Structure Preservation

1. Retention of the original structure and fabric of the soil or rock.
2. Absence of drilling-induced fractures or deformations.

Maintenance of Physical Properties

1. Preservation of natural moisture content.
2. Minimal alteration of in-situ physical properties.

Sampling Quality

1. Minimal contamination from drilling fluids.
2. High core recovery rate (ideally close to 100%).

Visual Assessment

1. Continuity of the core.
2. Absence of visible disturbances.

Reliability for Analysis

1. Accurate representation of in-situ conditions.
2. Suitability for precise geological interpretation and analysis.

Reliable for Technical Evaluation

1. High-quality assessment using advanced technologies such as X-ray CT scanning.
2. High values in quality indicators like Slice Quality (SQ) or Mean CT Number (MCN).

2.3 Recommended Geology and Soil Characteristic for the Hybrid Drilling Method

- a. Unconsolidated strata, especially peat layers and mixed layers of mud, sand, and gravel.
- b. Unconsolidated fault gauge and weak strata.
- c. Landslide soil masses and slide surfaces.
- d. Swelling ground.
- e. Mixed strata consisting of hard and soft rock and soil, where there is difficulty in collecting the soft parts.
- f. Other strata where it is difficult to collect cores by normal geological survey drilling.



On the other hand, samples with extremely high-water content and loose sands are generally difficult to collect with minimal disturbance, even with hybrid drilling method.

2.4 Investigation Plan Using Hybrid Drilling Method

a. Landslide Investigation

SNI 8460:2017 states that "core drilling should be performed at three to five points on the analysis section" as a recommendation for landslide investigation and analysis. For landslides with deep slip surfaces, such as landslides in clay shale, the ideal method for detecting the slip surface is the hybrid drilling method. To determine the required number of soil investigation points for the hybrid drilling method, recommendations from a geotechnical expert can be followed.

However, in standard geological surveys, the section around the slip surface is typically soft causing the core to often be washed away. As a result, the exact depth of slip surface cannot be obtained, leading to an inaccurate evaluation of the landslide.

On the other hand, by conducting hybrid drilling at three investigation points on a landslide, the slide surface depth can be accurately determined, and samples can be collected for soil testing of the slide surface, resulting to an appropriate evaluation of the landslide risk.

An example of hybrid drilling applied in a landslide investigation is shown in Annexes 1 and 2.

b. General Ground Investigation

General ground investigation is conducted to obtain soil stratification for the following:

- 1) Structural foundation analysis.
- 2) Soil improvement method and depth.

The hybrid drilling method allows less disturbed cores to be collected at multiple depths, making it possible to have an appropriate evaluation of the ground, even in areas where soft ground is distributed and undisturbed sampling was difficult.

In this case, first, the soil type, layer thickness, and distribution area of the soft ground are confirmed by normal survey drilling. Then, several locations with the most representative soil type are selected. Finally, hybrid drilling is carried out to confirm the soil type and collect less disturbed cores.

The collected cores are brought to a testing institution, where various soil tests are carried out to understand the characteristics of the ground (e.g., water content, uniaxial compressive strength, liquefaction characteristics, etc.).

An example of hybrid drilling in a peat layer conducted on the Malacca Sea coast of Sumatra is shown in Annex 3.

3. Technical Clause

3.1 Overview of the Hybrid Drilling Method

3.1.1 Types of High-Quality Drilled Core Collecting Method

High-quality drilled core collection methods are classified into polymer-based fluid, muddy fluid, or air foams, depending on the circulating drilling fluid.

a. Polymer-based Fluid, Muddy Fluid

Polymer-based thickening muddy water agents, such as carboxymethyl cellulose (CMC) or acrylic polymer-based thickening muddy water agents, are added to the circulating fluid. Adding these thickening agents to the drilling water increases its lubricity. This lubricity enables drilling with low water pressure and a small water volume, resulting in little core loss in weak sections due to water flow and allowing high-quality cores to be collected.

Similarly, when muddy fluid is used, the core quality is improved by adjusting the water pressure and water volume. In particular, the method using muddy fluid requires precise control of the water supply pressure and water supply amount during drilling, as well as balanced drilling pressure. Thus, it is highly dependent on the skills of experienced drilling engineers.

b. Air Foam

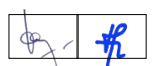
Air foam-type drilling is a method developed for the extraction of high-quality cores. It injects foaming agents into compressed air to create a circulating fluid. The foaming method includes the drip method, differential pressure method, and Venturi tube method. Since air foams are used as the circulating fluid, excessive water supply pressure is not generated, allowing high-quality cores to be contained with less disturbance.

3.1.2 Principle of the Hybrid Drilling Method

Drilling cores are made by rotating a metal or a diamond bit to cut cylindrically through strata or bedrock, and such coring usually requires circulating fluid. While water or muddy water is used as the circulating fluid in the conventional method, the hybrid method uses a foam fluid made of soapy water. For this reason, the borehole equipment is equipped with a unique foam generator.

The basic functions of circulating fluid generally include: (1) reduction of frictional heat generated by bit rotation and cooling of equipment; (2) maintenance of smooth rotation by reducing friction at the bit tip; (3) transport of cuttings upward; (4) maintenance of hole wall stability and reduction of damage to the core surface; and (5) rapid removal of cuttings when circulation is stopped.

Unlike normal water, foam fluid has a low specific gravity, and the structure of the foam makes it a stiff fluid with some strength. Therefore, cuttings can be transported upward even at relatively low pressure.



By drilling at low pressures, damage to the surface of the core and the borehole wall can be minimized. As a result, good core can be obtained with improved reproducibility of the subsurface conditions. When using the conventional method, as shown in Figure 1, the microstructure shows significant differences in the degraded part of the bedrock (e.g., width and direction of the clay seam, bedrock conditions surrounding the clay seam, etc.). The lower image shows a core collected by the conventional method, where the fine grains have been washed away by water, resulting in the loss of important geological information.



In the hybrid drilling method, massive cores can be extracted in their subsurface conditions without causing fractures. This makes it possible to determine the condition of the slip surface in landslide areas.

Figure 1 - Comparative image of core quality by hybrid method (top) and conventional method (bottom)

3.2 Materials and Equipment Used for Hybrid Drilling

3.2.1 Composition of Equipment for Hybrid Drilling

The hybrid method uses foam fluid made of soapy water as the circulating fluid. For this reason, the borehole equipment has a unique foam generator. The following figure shows the configuration of the equipment used for the hybrid drilling method.

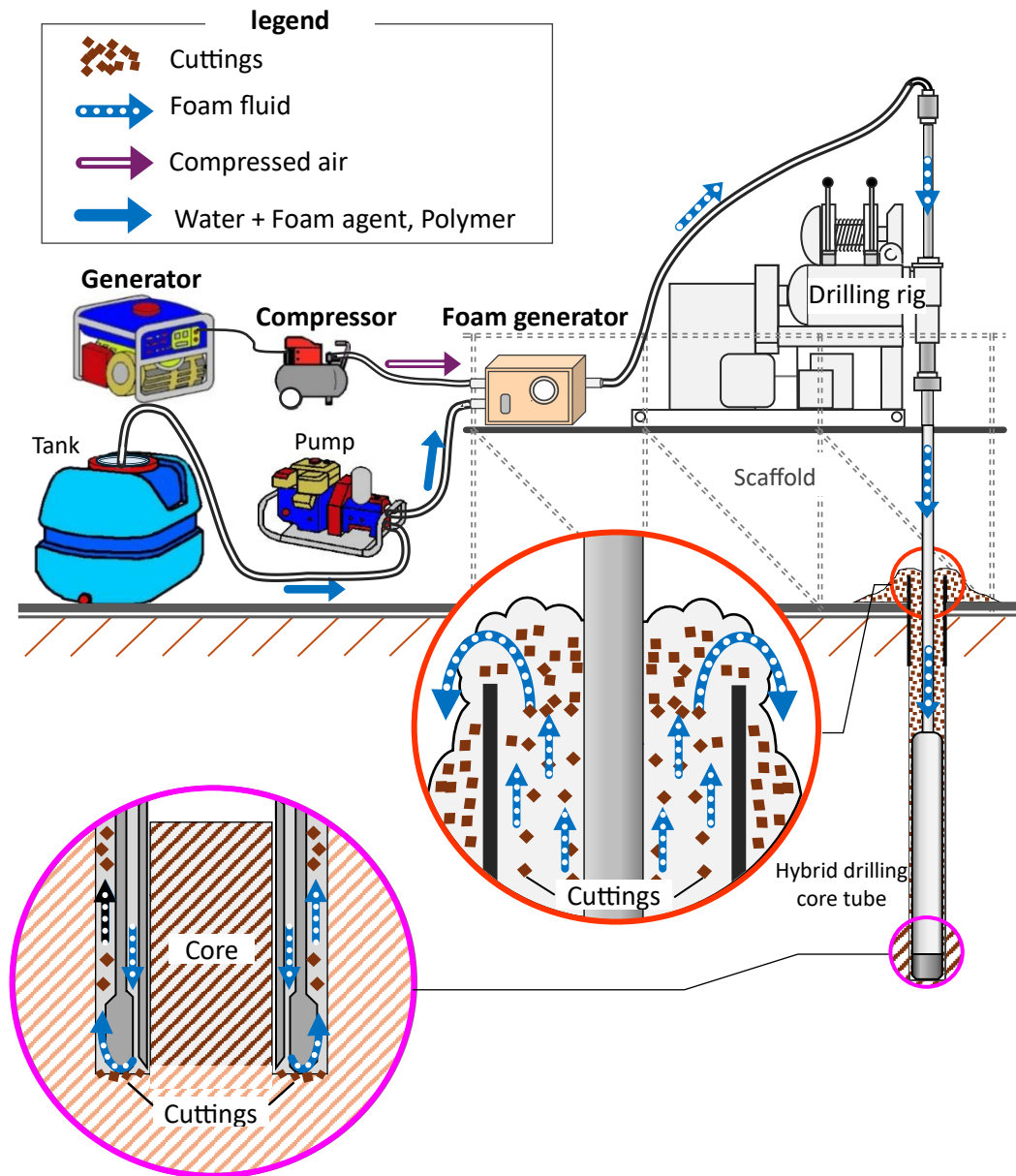


Figure 2 - Composition of equipment for hybrid drilling

3.2.2 Drilling Machine

Rotary drilling machines, drill rods, core barrels to receive the core, and drilling bits are needed. The hydraulic-rotary core drilling method is commonly used to collect rock cores.

Most rotary drilling machines and drilling tools for geological survey are applicable for the hybrid drilling method.

3.2.3 Drilling Bit

High-quality cores are obtained by using core barrels equipped with diamond or tungsten carbide-tipped bits.

3.2.4 Core Barrel

There are several basic types of core barrels: single-tube, double-tube, and triple-tube. The double-tube swivel type and triple-tube type are mainly used in the hybrid drilling method.

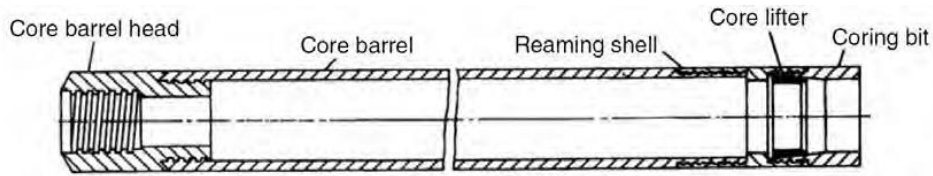


Figure 3 - Typical structure of single-tube type

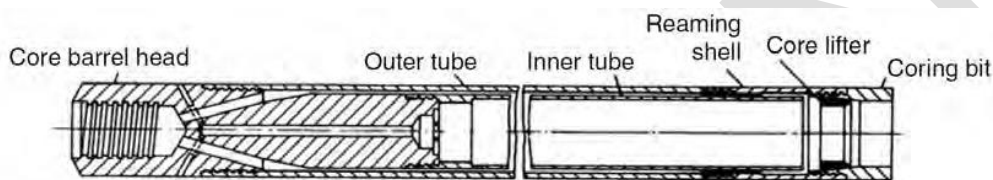


Figure 4 - Typical structure of double-tube type

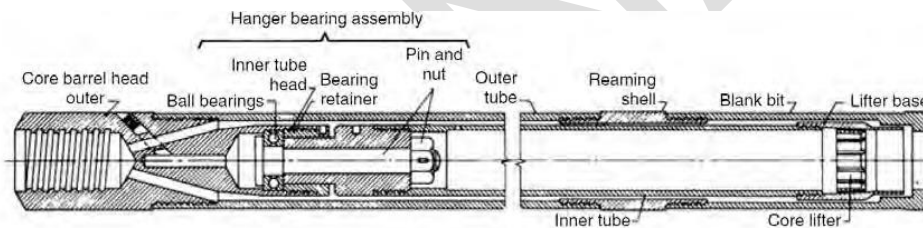


Figure 5 - Typical structure of double-tube swivel-type

Source of Figures-2, 3, and 4: Technical Manual for Drilling Works for Technical Support Plan for the Drillers in DDCA, Drilling and Dam Construction Agency (DDCA) and Japan International Cooperation Agency (JICA).

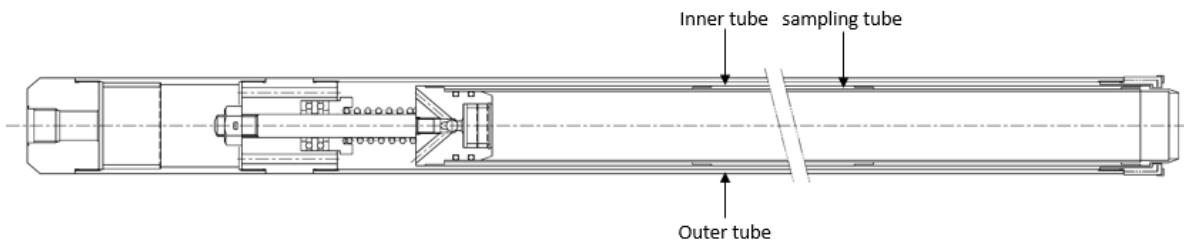


Figure 6 - Typical structure of triple-tube type

3.2.5 Foam Generator

The foam generator consists of a main pipe that pumps air from the compressor to the drilling machine, a bypass pipe that branches off from the main pipe, and a foam-generating nozzle that supplies circulating fluid mixed with a foaming agent to this bypass pipe. The volume of



air to be pumped and the volume of circulating fluid to be supplied can be adjusted in the equipment, depending on the geological conditions.

A sight glass (with spinner) is effective in assessing the flow rate of the circulating fluid. During excavation, the sight glass allows the flow of drilling fluid in the water hose to be visually checked from the outside through a glass window. Compared to the water flow meter that is generally used, the spinner-type sight glass is more sensitive to the flow of the fluid and experiences fewer stoppages in rotation due to low water supply pressure or small water volume. This makes it easier to judge changes in flow rate due to the rotation speed and provides excellent visibility.



Figure 7 - Sight glass with spinner

The foaming agent used in the hybrid method is sodium olefin (C14-16) sulfonate. This main material is a safe foaming agent with excellent foaming and foam-breaking properties and is widely used as a household detergent. It is considered safe since it is “easily degradable” and, thus, has little impact on the environment. However, when disposing large quantities, it should be treated as industrial waste in the same way as ordinary foaming agents, and direct discharge into rivers and other bodies of water should be avoided.

3.2.6 Core Pusher

In some core lifter sections, the core is not stored in a vinyl sleeve, so it is often disturbed when removed from the lifter, which may result in a lower core evaluation for the section. After the core is extracted, the core pusher pushes the remaining core in the bit into the core tube (inner tube) without damaging it, reducing disturbance of the core in the core lifter section.

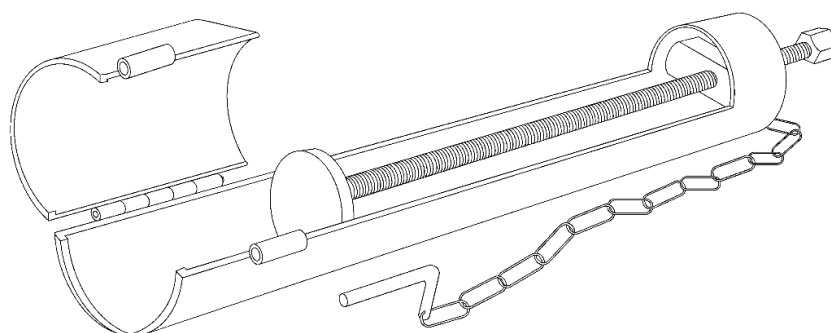


Figure 8 - Core pusher

3.2.7 Split PVC Pipe

A split PVC pipe is a one-meter PVC pipe that has been split in half lengthwise. The inside diameter of the split PVC pipe is slightly larger than the diameter of the core. By storing the core in a split PVC pipe, the drying and collapse of the drilling core in the core box are minimized.



Figure 9 - Split PVC pipe

3.2.8 PE Sleeve

Using a polyethylene (PE) sleeve for sampling during drilling ensures that high-quality cores are obtained.

The PE sleeve is a transparent, resilient plastic film that is about 0.04 mm thick. The PE sleeve reduces friction between the inner tube and the collected sample, while simultaneously wrapping the collected material to prevent it from falling out. Polyethylene has excellent chemical and water resistance, protecting the core from chemicals and moisture.

To attach the PE sleeve, follow the procedure as expounded below:

- a. Carefully fold the sleeve with a tool and store it in the sleeve case.
- b. Attach the sleeve case to the top of the lifter case, which is used to fold and attach the sleeve.

Material: Polyethylene

Dimensions: Width: 100 mm, Thickness: 0.04 mm (tube for 86 mm diameter).

Width: 75 mm, Thickness: 0.04 mm (tube for 66 mm diameter).

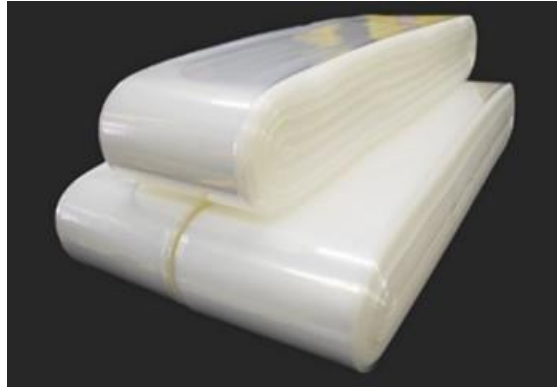


Figure 10 - PE sleeve

3.2.9 Core Cleaning Tools

To remove the mud cake from cores taken by the drilling method, core cleaning tools such as water sprays, brushes, and cutters are prepared.

SALINAN

3.3 Procedure of the Hybrid Drilling Method

The procedures of hybrid drilling are illustrated in the following figures:

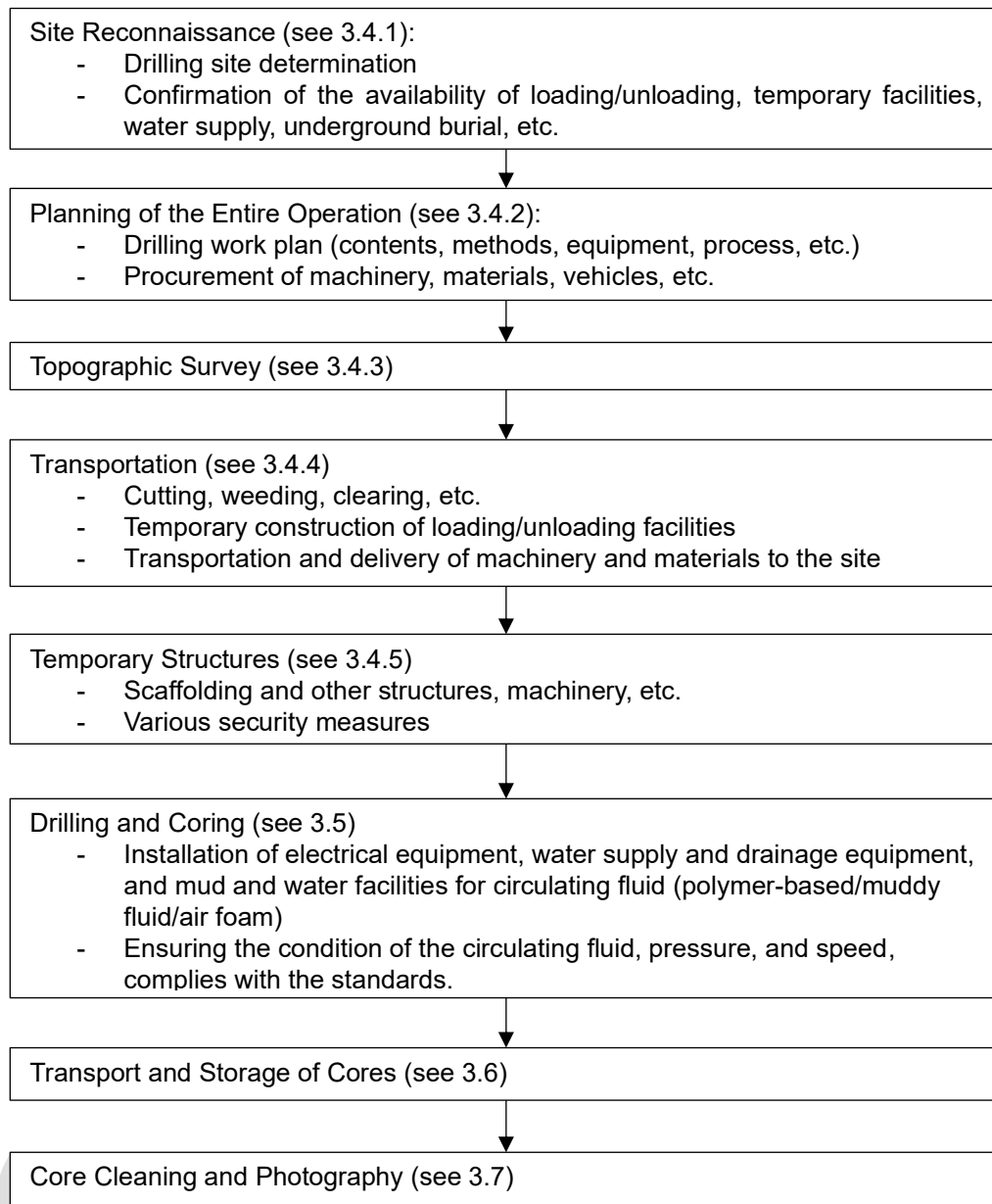


Figure 11 - Procedure of the hybrid drilling method

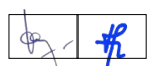
3.4 Preparation Work for Drilling

Preparatory work is employed after the work plan is prepared and before the commencement of drilling. The preparatory tasks are mentioned as follows:

3.4.1 Site Reconnaissance

The following points should be clarified during the field survey:

- a. In urban areas, the presence of buried objects should be confirmed;
- b. In areas where there is concern about the burial of explosives or other hazardous materials,



- a confirmation survey should be conducted;
- c. If there are facilities or residences in the vicinity of the investigation site, confirm that the water quality and noise generated by the survey will not cause problems;
 - d. Confirm the treatment of the borehole after drilling (e.g., observation holes, backfilling, etc.);
 - e. Check the method of draining drilling water and transporting and disposing of waste materials.

3.4.2 Work Plan Preparation

Based on the results of the site reconnaissance, the location of the borehole is determined. The objectives of the investigation should be taken into account when establishing the work plan for the survey.

3.4.3 Topographic Survey

The location of the borehole is determined by reconnaissance, followed by surveying. When the location is determined on the map by the client, it must be plotted accurately on the site. If the location and elevation are incorrect, the results of the survey drilling will be inaccurate, which could greatly interfere with the design and construction.

3.4.4 Transportation

1. Preparation of Equipment List

Determine the specifications and quantities of the equipment and materials required for the survey drilling. Prepare a checklist and, if possible, include the total mass, capacity, and quantity of parts.

2. On-site Transportation

The most efficient transportation method is selected based on the on-site survey. The general transportation methods are as follows:

- a. If there is a road: pedestrian, wheelbarrow, tractor, truck.
- b. If there is no road: crawler, monorail.
- c. For long-distance transportation: truck or helicopter, depending on the presence of a road.
- d. For steep slopes: sled, monorail, or cableway, depending on the transportation distance.

3.4.5 Temporary Structures

1. Temporary Structure Materials:

- a. Wire rope, fiber rope, etc.:

Used for transporting and removing materials and equipment.



- b. Steel pipe scaffolding materials:
Single pipe, framework, fastening fittings, joint fittings, and other accessories are used to create a work scaffold.
2. Temporary Work:
Temporary scaffolding work involves several relatively hazardous elements, such as slinging, winching, and working at heights. This requires special attention to safety management. Temporary scaffolding is important not only for ensuring workplace safety but also for preventing accidents during borehole drilling operations and conducting high-quality surveys.

3.5 Drilling and Coring

3.5.1 Installation of Drilling Equipment

A rotary drilling machine, drill rods, a core barrel to receive the core, a cutting bit, a water system, and pumps are needed in the common hydraulic-rotary core drilling method. Additionally, the hybrid drilling method requires a foam generator, a foam agent, and a polymer. The fundamental aspects to check before starting the drilling process are as follows:

1. Water System Connection

The following should be noted when setting up the water system:

- a. Secure the proper connection of water paths.
- b. Ensure that all connections are secure.
- c. Inspect and confirm the circulation of the water system before starting the drilling process.

2. Pump Setting

If the pump fails, it will not only prevent drilling but can also lead to serious accidents.

Thus, spare parts for consumables are necessary. The following should be noted when handling the pump:

- a. Inspect and replenish oil at lubrication points.
- b. Ensure that bolts and nuts are securely tightened.
- c. Confirm that there is no mud in the rotating parts, such as the gear case.
- d. Prevent wood chips, straw chips, or pebbles from entering the air inlet and outlet.





Figure 12 - Photograph of pump setting

3. Foam and Polymer Mixture

Depending on the geological conditions, it is necessary to adjust the blending ratio of the foam agent and polymer.



Figure 13 - Photograph of foam agent and polymer mixture

4. Core-lifter and PE Sleeve Setting

The core-lifter is a part attached to the bottom inside the core tube and has the function of preventing the collected core from falling out. When attaching the core-lifter, it is important to put grease between the core-lifter case and the core lifter to reduce friction. The PE sleeve is a part that is attached to the inner extension and has the role of protecting the shape of the collected core. The following should be noted when setting up the PE sleeve:

- Length of the PE sleeve: Prepare a PE sleeve that is 20 cm to 30 cm longer than the length of the core to be collected.
- How to install the sleeve: Leave about 5 cm of the tip of the inserted PE sleeve so that both sides can be closed.
- Treatment of the tip portion: The tip should be stapled in two places (see Figure 14). This treatment prevents the core from penetrating to the outside of the sleeve, and also allows air and drilling water inside the sleeve to drain properly.

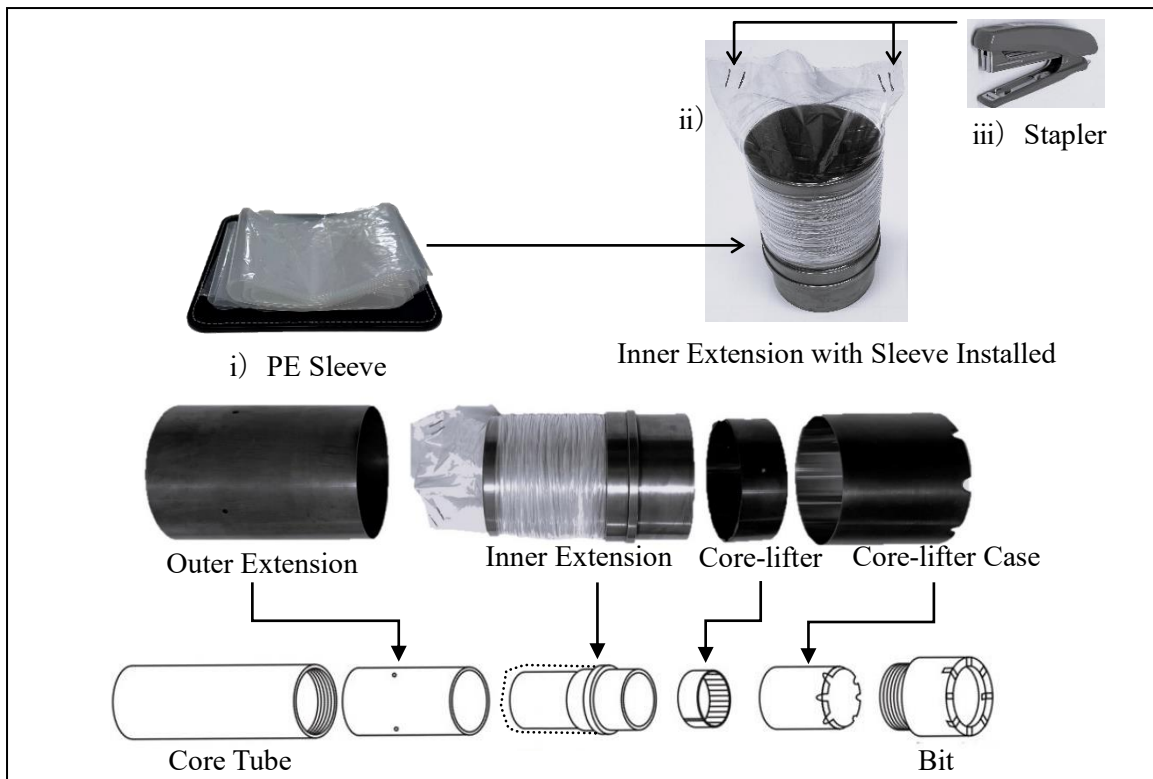


Figure 14 - Core-lifter and PE sleeve setting

3.5.2 Drilling Method

In hybrid drilling, a foaming agent is added to the drilling water, and a foam generator creates foam in the drilling water to prevent the outflow of fine grains. This allows a more detailed understanding of areas in the rock mass that are likely to be disturbed during drilling, such as fractured and soft zones.

During drilling, the engineer first selects a bit suitable for the geological conditions, determines the drilling conditions compatible with the bit, and then adjusts the drilling conditions according to changes in geological conditions, borehole conditions, and bit load during the actual drilling operations. The controlled drilling method is shown in the table below.

Table 1 - Drilling methods in hybrid drilling

Drilling Method	Description
Pressure-feed Control Drilling Method	This method is suitable for drilling at shallow depths and in relatively uniform geological conditions.
Speed-controlled Drilling Method	This method is commonly used for drilling in particularly soft geological conditions or where hard and soft areas are intermingled.
Balanced Drilling Method	This method is suitable for drilling at greater depths.

1. Pressure-Feed Control Drilling Method

Fully open the speed control valve and set the switching lever to the down position. The drilling is then controlled solely by the pressure adjustment valve. Pressure is applied to the upper part of the cylinder by adjusting the pressure adjustment valve. The load on the tip bit consist of the combined weight of the feed pressure and the rod used.

This method is suitable for digging in shallow depths and in relatively uniform geological conditions.

2. Speed-Controlled Drilling Method

After fully closing the speed control valve, set the switching lever to the down position. Next, use the pressure adjustment valve to determine the maximum pressure to be applied to the top and bottom of the cylinder in advance. At this stage, the spindle does not descend because the upper cylinder feed pressure is equal to the lower back pressure. By gradually opening the speed adjustment valve and adjusting the back pressure of the lower cylinder, the spindle begins to descend. During this process, the load on the tip bit is the difference in pressure between the upper and lower cylinders. This back pressure includes the weight of the rod and is generally referred to as the balancing force.

Because this method allows for fine adjustment of the bit load and spindle descent speed, it is commonly used for digging in particularly soft geological conditions or where hard and soft areas are intermingled.

3. Balanced Drilling Method

As the depth increases, the weight of the rod itself is greater, and the bit is subjected to a load greater than that required for digging. Thus, this method is used to adjust the load on the bit while drilling.

First, fully open the speed adjustment valve and set the switching valve lever to the up position. Succeeding operations are performed using only the pressure adjustment valve. By adjusting the pressure adjustment valve, back pressure (balance force) is applied to the lower part of the cylinder, allowing the load on the bit to be regulated. The load on the tip bit is the difference between the weight of the rod and the back pressure.



4. Key Points to Keep in Mind When Drilling

When drilling in soft ground, it is necessary to reduce the amount of water supplied compared to normal drilling. The water supply pressure during drilling varies depending on the bedrock conditions, but it should be maintained at about 0.1 to 0.3 MPa with a constant water supply rate of a few liters per minute. When the water supply pressure is stable, firm coring is possible. If the water supply pressure exceeds the bit cutting capacity, it will rise, making it necessary to frequently monitor and adjust the water supply pressure. It is important to keep the water supply pressure constant at all times.

Core clogging refers to the condition where the core does not enter the inner tube smoothly. It can be determined by a sudden increase in the load on the tip of the bit or a decrease in drilling speed. It is important to always monitor the supply pressure, water pressure, and operating noise.

The following points should be considered when operating a drilling machine during normal drilling work, as the machine is sensitive to changes in drilling conditions (such as changes in geology) in the following order: engine vibration and sound, water supply pressure gauge, and return water/drainage conditions.

- a. Low torque (reduce the rotation of the prime mover engine).
- b. High rotation (use of the machine's top gear).
- c. Low feed pressure (to ensure a certain digging speed).

The risk of jamming increases as slime tends to accumulate at the bottom of the borehole due to drilling with a small feed rate. Therefore, it is necessary to drill while being mindful of the precautions indicated below:

Visual: Changes in gauges, color tone, or increase/decrease in the amount of returned water or wastewater.

Hearing: The sound of the power source (machine, pump engine) and the operation of the drilling machine itself.

Tactile sensation: Vibration during operation, discomfort when inspecting core tubes and other samplers (inner tube bearings, shafts), and the condition of the core tube when it is raised and lowered (stability and safety of the borehole).

3.5.3 Core Barrel Type of Use

Core barrels are essential tools designed to collect rock cores during drilling. Different types of core barrel exist, each suited to specific drilling operations and geological settings. While their primary purpose is to obtain cores, they also enhance drilling efficiency, particularly in hard rock environments, even when core retrieval is not needed. Core barrels are classified into categories such as single-core, double-core, and triple-core barrels.

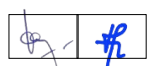


Table 2 - Coring tools and methods

Coring Tool	Description and Application
Single-tube Core Barrel	<ul style="list-style-type: none"> · Coring rock where high recovery is not necessary. · Circulating water washes out soft, weathered, or fractured rock.
Double-tube Core Barrel	<ul style="list-style-type: none"> · Coring for most rock types where high recovery is not necessary, and the rock is not highly fractured or soft. · Recovery is often low in soft or fractured rocks and unconsolidated materials.
Double-tube Swivel-type Core Barrel (Used for Hybrid Drilling Method)	<ul style="list-style-type: none"> · Superior to double-tube core barrel, particularly useful for obtaining high recovery in friable, highly fractured rocks and unconsolidated materials. · More costly and complicated than the others mentioned above. · Not required in good-quality rock.
Triple-tube Core Barrel (Used for Hybrid Drilling Method)	<ul style="list-style-type: none"> · Similar to the double-tube core barrel, but includes additional inner liner, consisting of either a clear plastic solid tube or a thin metal split tube to retain the core. · Best suited for preserving fractured and poor-quality rock cores.

1. Single-Core Barrel

Single-tube core barrels are generally used when the geology is homogeneous, and core sampling is easy. Since the drilling fluid is in direct contact with the core, it is not suitable for core sampling in fragile or erodible geology.

2. Double-Core Barrel

A double-core barrel enhances core collection by preventing drilling water from being in contact with the core. The fluid flows between the outer and inner tubes, protecting the core samples stored in the inner tube. This design is particularly useful for achieving high core collection rates in heterogeneous or soft layers with numerous cracks, where collection can be challenging.

Double-core barrels come in two varieties: a rigid type, where the outer and inner tubes are interconnected and rotate together, and a swivel type, equipped with a swivel head and an integrated ball bearing. The latter enables the upper part of the inner tube to remain still while the outer tube turns. These double-core barrels are commonly employed for collecting cores from fracture zones and layers with numerous fissures.

3. Swivel Double-Core Barrel

Swivel double-core barrels are utilized in challenging layers where retrieving a core is difficult. This design allows the outer tube to rotate via the swivel head while keeping the inner tube stationary. A core lifter case is attached to the end of the inner tube, extending until the bit's tip for easier core collection.



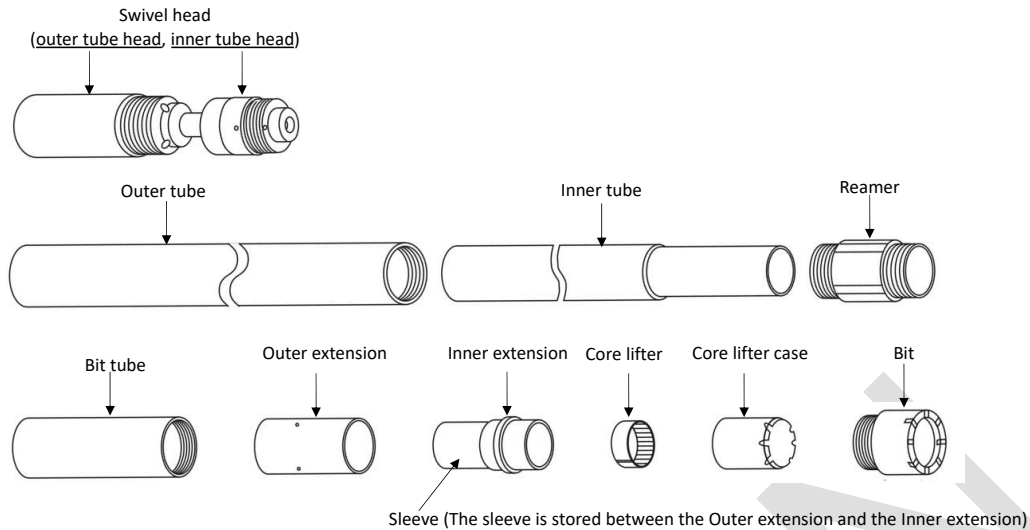


Figure 15 - Image of the standard double-core barrel

4. Triple-Core Barrel

The triple-core barrel shares a structure similar to the double-core barrel but includes a core case integrated into the inner tube, resulting in a triple-tube design. This core case can be made from either a thin-walled iron or a resin pipe and features a vertical split to simplify core removal. A unique piston, triggered by water pressure, aids in extracting the core case.

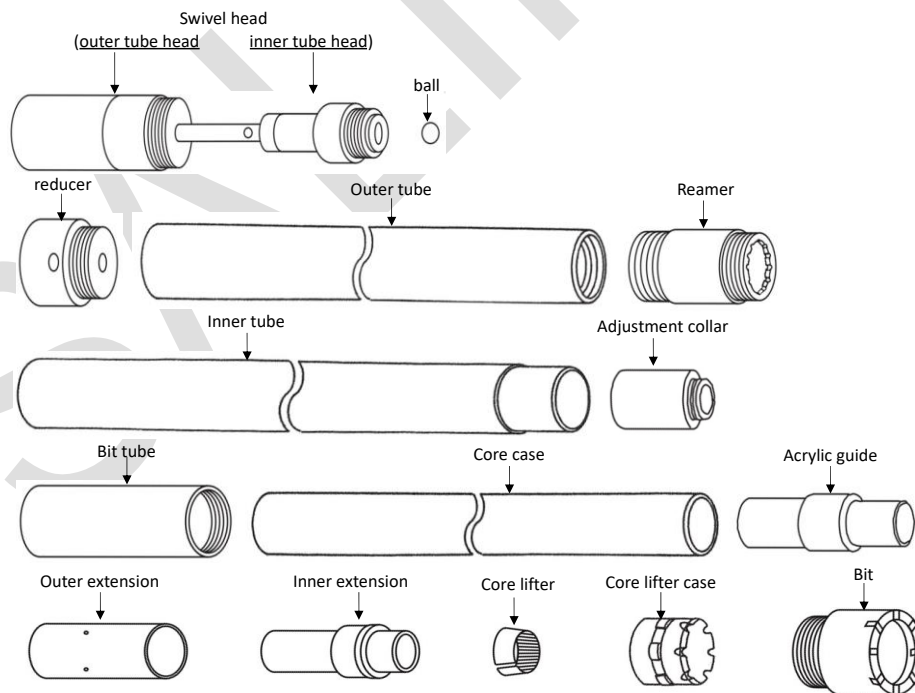


Figure 16 - Image of the standard triple-core barrel



3.5.4 Foam Agent and Polymer Concentration Adjustment in the Drilling Water

The properties of the ground to be drilled are diverse, and the soil and rock properties change with depth, even at the same boring site. In hybrid drilling, the concentration of foam agents added to the drilling water is appropriately adjusted according to the soil properties to maximize the effect of air foam and improve the discharge efficiency of slime (drilling debris) generated during drilling. On the other hand, polymers help retain air foam for a longer duration and increase the viscosity of drilling water in the borehole to protect the borehole wall. The combination of these two factors maximizes the function of the drilling water and improves the quality of the core.

The optimum concentration of the foaming agent and polymer is determined empirically through verification based on a wide range of past construction experience. Examples of the optimum concentration are shown below:

1. Standard Formulation
 - a. Foam agent: Add 1.25 L of foaming agent to 500 L of water.
 - b. Polymer: Add 0.30 L of polymer per 500 L of water.



Figure-17 Foam Generation Using Standard Formulation

2. Example of Formulation When Excavating Soft Ground
 - a. Foam agent: Add 1.50 L of foaming agent to 500 L of water.
 - b. Polymer: Add 0.50 L of polymer per 500 L of water.

In soft ground, it is necessary to suppress the amount of drilling water pumped, the pumping pressure, and the drilling speed to prevent the loss of the boring core during excavation. However, this reduces the efficiency of drilling debris discharge and makes excavation difficult. To mitigate this, the foam density of the drilling water is increased. In addition, by increasing the polymer concentration, the persistence of foam and the stability

of the borehole wall can be improved.

3. Example of Formulation for Hard Rock Excavation

- a. Foam agent: Add 0.75 L of foaming agent per 500 L of water.
- b. Polymer: Add 0.30 L or less of polymer per 500 L of water.

In hard bedrock, core loss and hole wall collapse are less likely to occur, allowing the amount and pressure of drilling water to be increased to improve drilling efficiency. However, in fragile zones (e.g., fault fractures) between hard bedrock, it is necessary to apply the same mixing method used for soft ground.

4. Key Points to Keep in Mind Regarding Drilling Water

Drilling water is usually sourced from rivers or ponds. The water quality in rivers and ponds under special conditions may exhibit extremely high or low values of hardness, pH, salinity, and organic matter content compared to normal water, which may reduce the effervescence and viscosity of the drilling water. Since these factors may act in combination, it is difficult to define clear criteria for individual components. Therefore, it is important to directly observe the state of foam generation and viscosity of the drilling water at the drilling site.

If a decrease in effervescence or viscosity is observed in the drilling water, water must be procured from a different source. In special river water conditions, such as volcanic areas, near estuaries, or peat swamps, attention should be paid to the water quality.

3.6 Handling of Cores

Even if the samples are carefully collected, improper transport or storage before laboratory soil testing can disturb them. For this reason, it is necessary to handle the samples with care. Soft clayey soil and loose sandy soil require particular attention. Key considerations for handling samples are as follows:

3.6.1 Handling and Management of Samples at the Site

It is desirable to transport and store sealed samples as quickly as possible in a testing room equipped with constant temperature control. When storing samples temporarily at the site, it is important to choose a location with suitable conditions, such as:

1. Where the vibration from the drilling machine is not transmitted; and
2. Where the samples are not exposed to direct sunlight or high temperatures.

3.6.2 Points to Note When Transporting Samples

When transporting collected cores, be careful not to subject the cores to shocks or significant temperature changes.



3.6.3 Points to Note When Storing Cores

The cores transported to the testing room are checked for seal conditions and deformation of the sampling tubes, while referring to the sample collection records. They are then stored in a storage room with controlled temperature and humidity. Even when stored under such conditions, the samples are placed in an environment that is clearly different from the conditions in the soil. Therefore, it is important to avoid prolonged storage and to subject them to laboratory soil testing soon after delivery.

3.7 Evaluation and Use of Drilled Core by Hybrid Drilling Method

3.7.1 Sample Cleaning

The surface of the collected cores absorbs mud cake used during drilling. Therefore, when evaluating the cores, it is necessary to remove the mud cake to observe the core's original condition.

The following procedure is used to clean the borehole core surface:

- a. Prepare core cleaning tools, such as water sprays, brushes, and cutters.
- b. Strip the PE sleeve around the cores. Be careful not to accidentally damage the boring core with cutters when removing the PE sleeve.



Figure 18 - PE sleeve stripping

- c. Before cleaning, check the condition of the cores and pay attention to the hardness of the cores and any trapped materials to avoid inadvertently damaging the cores or washing away.

Carefully clean and remove the mud cake adhering to the surface of the borehole core soon after removing the sleeve. Clean with a brush or fingers while spraying a small amount of water with a spray. Be careful not to inadvertently lose any pincers or soft parts of the fracture.



Figure 19 - Cleaning the surface of the cores

3.7.2 Taking of Core Photographs

Borehole core photographs are taken using a digital camera with an image quality of at least approximately 1 mm resolution or better. Before taking borehole core photographs, a trial shot is taken in advance to verify the shooting conditions. The weather conditions at the time of shooting, shadows, and moisture in the borehole core are considered. Color samples and information on the borehole core are taken simultaneously. The file format of the borehole core photographs are saved in a high-quality image format, ensuring that the number of recorded pixels and the compression ratio do not degrade the image quality. No color tone corrections or other modifications are performed to the photographs taken. Continuous borehole core photographs are created by stitching the individual photographs together on a computer, using the borehole core photographs taken for each box.

Appendix

SALINAN

Appendix: Table of Contents

1. Site 1: Cianjur Puncak – A Landslide in Quaternary Volcanic Deposits	1
1.1 Background.....	1
1.2 Results of Hybrid Drilling and Comparison with Conventional Drilling	2
1.3 Drilling Work	5
2. Site 2: Serang-Panimbang Toll Road – Faults and Sliding Planes in Tertiary Clayey Shale .	6
2.1 Background.....	6
2.2 Results and Comparison of Hybrid Drilling with Conventional Drilling	7
2.3 Drilling Works.....	10
3. Site 3: Lingkar Pekanbaru Toll Road – Quaternary Peat Layer.....	11
3.1 Background.....	11
3.2 Results and Comparison of Hybrid Drilling with Conventional Drilling	12
3.3 Drilling Work.....	15
4. References	17

Appendix: Tables and Figures

Table 1-1. Summary of the comparison between hybrid drilling and conventional drilling	2
Table 1-2. Comparison of cores obtained by hybrid drilling and conventional drilling	3
Table 1-3. Close-up photographs of cores from hybrid drilling and conventional drilling.....	4
Table 2-1. Summary of the comparison between hybrid drilling and conventional drilling	7
Table 2-2. Comparison of cores obtained by hybrid drilling and conventional drilling	8
Table 2-3. Close-up photographs of cores from hybrid drilling and conventional drilling.....	9
Table 3-1. Summary of the comparison between hybrid drilling and conventional drilling	12
Table 3-2. Comparison of cores obtained by hybrid drilling and conventional drilling	13
Table 3-3. Close-up photographs of cores from hybrid drilling and conventional drilling.....	14
Figure 1-1. Location map of site 1 (National Highway 11 in Cianjur Puncak Area)	1
Figure 1-2. Photographs of drilling work at the Cianjur Pancak Area.....	5
Figure 2-1. Location of site 2 (Serang-Panimbang Toll Road)	6
Figure 2-2. Photographs of drilling work at Serang-Panimbang Toll Road Site.....	10
Figure 3-1. Location of site 3 (Lingkar Pekanbaru Toll Road)	11
Figure 3-2. Photographs of drilling work at Lingkar Pekanbaru Toll Road	16
Figure 4-1. Performance of the hybrid drilling method in Japan.....	17

1. Site 1: Cianjur Puncak – A Landslide in Quaternary Volcanic Deposits

1.1 Background

The hybrid drilling site was located in a mountainous area along National Highway 11, approximately seven kilometers east of Cianjur town in the West Java Province, where a large landslide triggered by a 5.6 magnitude earthquake occurred on 21 November 2022 (see Figure 1-1). The landslide blocked streets and buried several houses, resulting in 268 fatalities. Conventional drilling was carried out at the landslide site, and the highway was reopened with structural measures such as drainage works, embankments, and gabion works. However, the exact depth of the landslide was not clear based on the conventional drilling results, and the actual landslide may have been deeper or larger than expected. Therefore, hybrid drilling was carried out to identify the depth of the landslide and provide geological data for assessing the structural measures. Conventional drilling was also executed adjacent to the hybrid drilling point to compare the results between the two methods.

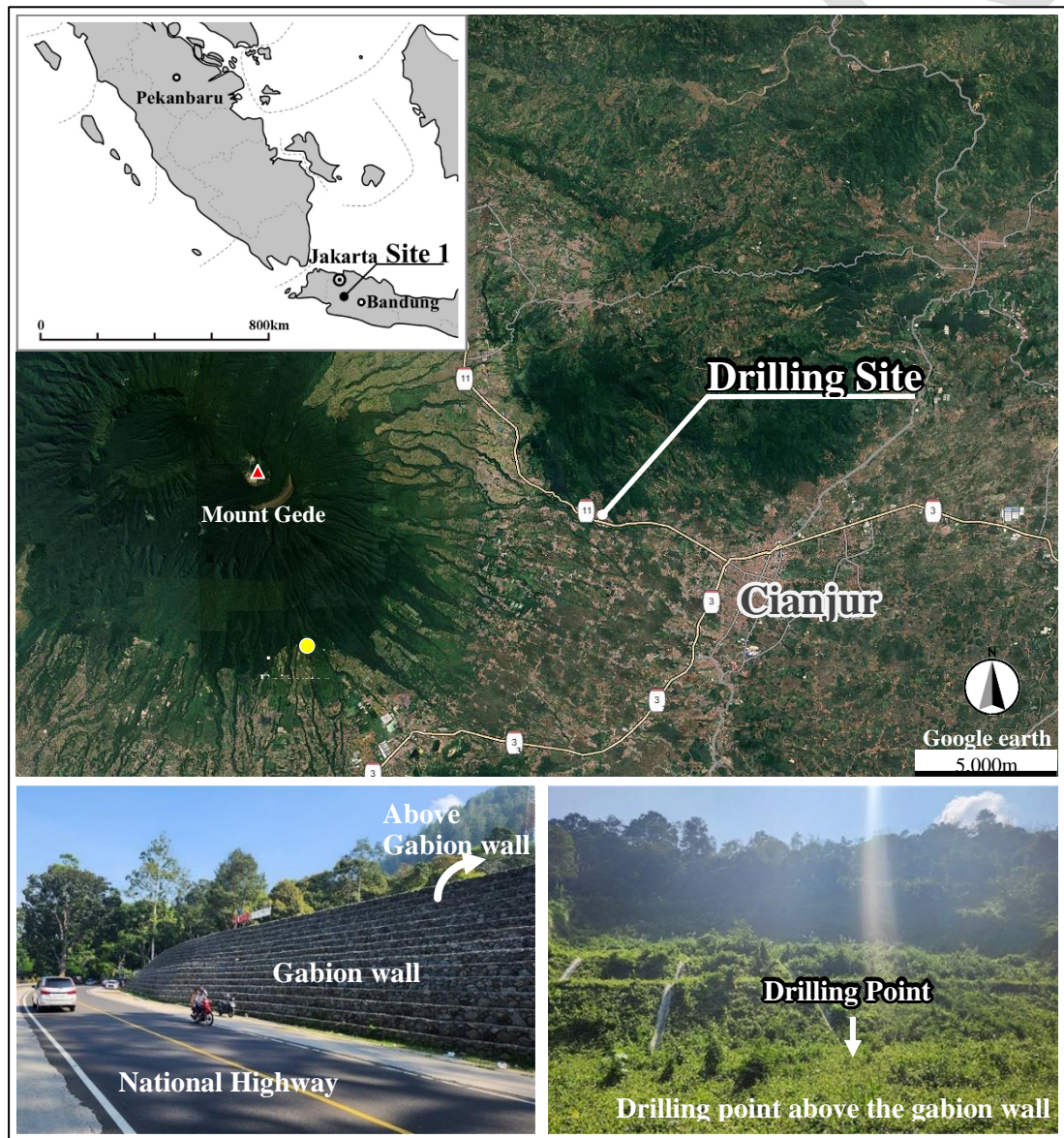


Figure 1-1. Location map of site 1 (National Highway 11 in Cianjur Puncak Area)

1.2 Results of Hybrid Drilling and Comparison with Conventional Drilling

The results of hybrid drilling and conventional drilling are summarized in Table 1-1. Continuous cores obtained by hybrid drilling methods are shown in Table 1-2. The geological boundaries of the embankment materials, talus deposits, and andesite bedrocks were clearly identified by hybrid drilling, as shown in Table 1-3. The andesite was further divided into massive parts and auto-brecciated parts, with small fracture zones identified. On the other hand, in the cores obtained through conventional drilling, the geological boundaries were unclear, fault gouges were lost, and the auto-brecciate parts of the andesite were mechanically fractured. The cores from conventional drilling were of lower quality compared with the actual rock conditions, and the core loss sections may have been misinterpreted as slip planes of the landslide, when in fact they were fracture zones or auto-brecciated parts.

Table 1-1. Summary of the comparison between hybrid drilling and conventional drilling

General	Description	
Location	National Highway 11 in Cianjur Puncak, West Java Province	
Topography	Mountainous area covered with forests and grasses	
Geology	Quaternary andesite breccia intercalated with andesite lava.	
Rock Condition	Hybrid Drilling Method (86 mm in diameter)	Conventional Drilling Method (66 mm in diameter)
0 m – 1,6 m Soil	Core recovery: 100% Core disturbance was very little.	Core recovery: 60% – 70% Completely disturbed.
1,6 m – 13,2 m Highly weathered rocks	Core recovery: 100% Core disturbance was very little.	Core recovery: 30% – 70% Completely disturbed. Relatively hard parts were obtained as cylinder-shaped cores.
13,2 m – 29,0 m Moderately to slightly weathered rock with irregular cracks and fracture zones	Core recovery: 100% Core disturbance was very little. Relatively massive. Rough to slightly rough joints with thin brown seams. Fault gouges and brecciated parts were obtained. Fractures dip 65 – 75 degrees.	Core recovery: 60% – 90% Relatively hard and massive parts were obtained as cylinder-shaped cores. However, fault gouges were lost, and brecciated parts were fractured.
29,0 m – 41,7 m Moderately to slightly weathered rock with irregular cracks and fracture zones	Core recovery: 100% Core disturbance was very little. Fault gouges and brecciated parts were obtained. A fracture at depth 29.8 m dips 65 degrees.	Core recovery: 30% – 70% Some hard and massive parts were obtained as cylinder-shaped cores. However, fault gouges were lost, and many brecciated parts were fractured.
41,7 m – 50,0 m Highly weathered rocks	Core recovery: 100% Core disturbance was very little. Fragile parts of andesite auto-brecciate lava were completely obtained without sample loss. 46.45 m – 46.90 m: Strongly oxidized, possibly marking the boundary of the andesite lava unit.	Core recovery: 50% – 80% A large amount of fragile parts were lost. The bottom of the conventional drilling was 44 m in depth.

Note: Rock conditions in the above table are based on the results of hybrid drilling.




Table 1-2. Comparison of cores obtained by hybrid drilling and conventional drilling

Hybrid Drilling Method (L = 50,0 m)		Conventional Drilling Method (L = 44,0 m)	
Depth (m)		Depth (m)	
0	1	0	1
1	2	1	2
2	3	2	3
3	4	3	4
4	5	4	5
5	6	5	6
6	7	6	7
7	8	7	8
8	9	8	9
9	10	9	10
10	11	10	11
11	12	11	12
12	13	12	13
13	14	13	14
14	15	14	15
15	16	15	16
16	17	16	17
17	18	17	18
18	19	18	19
19	20	19	20
20	21	20	21
21	22	21	22
22	23	22	23
23	24	23	24
24	25	24	25
25	26	25	26
26	27	26	27
27	28	27	28
28	29	28	29
29	30	29	30
30	31	30	31
31	32	31	32
32	33	32	33
33	34	33	34
34	35	34	35
35	36	35	36
36	37	36	37
37	38	37	38
38	39	38	39
39	40	39	40
40	41	40	41
41	42	41	42
42	43	42	43
43	44		
44	45		
45	46		
46	47		
47	48		
48	49		
49	50		

Note: Core drilling was terminated at a depth of 44 m due to insufficient reaction forces from the scaffolding of the drilling machine.



Table 1-3. Close-up photographs of cores from hybrid drilling and conventional drilling

Geological Boundaries in Cores at the Depths of 0 m – 8 m		
Hybrid Drilling Method		Description/Feature
<p>Depth(m)</p>  <p style="text-align: center;">Length 1.00m</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>a) The boundary between the embankment (artificial deposit) and the talus deposit (natural sediment) can be clearly observed.</p> <p>b) The boundary between the talus deposit (natural sediment) and the andesite auto-brecciate lava (natural sediment) can be clearly observed.</p> <p>The geological structures and the conditions of joints and fractures, such as roughness, inclinations, and intercalated material, were clearly observed.</p>	
Conventional Drilling Method		Description/Feature
<p>Depth(m)</p>  <p style="text-align: center;">Length 1.00m</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>The geological boundaries of the embankment, talus deposit, and andesite auto-brecciate lava are unclear.</p> <p>Soil and highly weathered rocks were drilled without water circulation and were completely disturbed as a result.</p> <p>Geological structures and fractures could not be identified.</p>	
Boundary of Andesite Lava Units Observed in Core Between 46 m and 47 m Depth		
Hybrid Drilling Method		Description/Feature
<p>46</p>  <p style="text-align: right;">47</p>	<p>46,45 m – 46,90 m: Strongly oxidized, possibly a boundary of andesite lava units.</p>	
Conventional Drilling Method		Description/Feature
<No Core>		<p>Core drilling was terminated at a depth of 44 m due to insufficient reaction forces from the scaffolding of the drilling machine.</p>

1.3 Drilling Work

The hybrid drilling method demonstrated excellent performance, achieving 100% core recovery with very few disturbed cores. This method is suitable for investigating landslides in Quaternary volcanic deposits, such as at the Cianjur Pancak area. Photographs of the drilling work are shown in Figure 1-2.

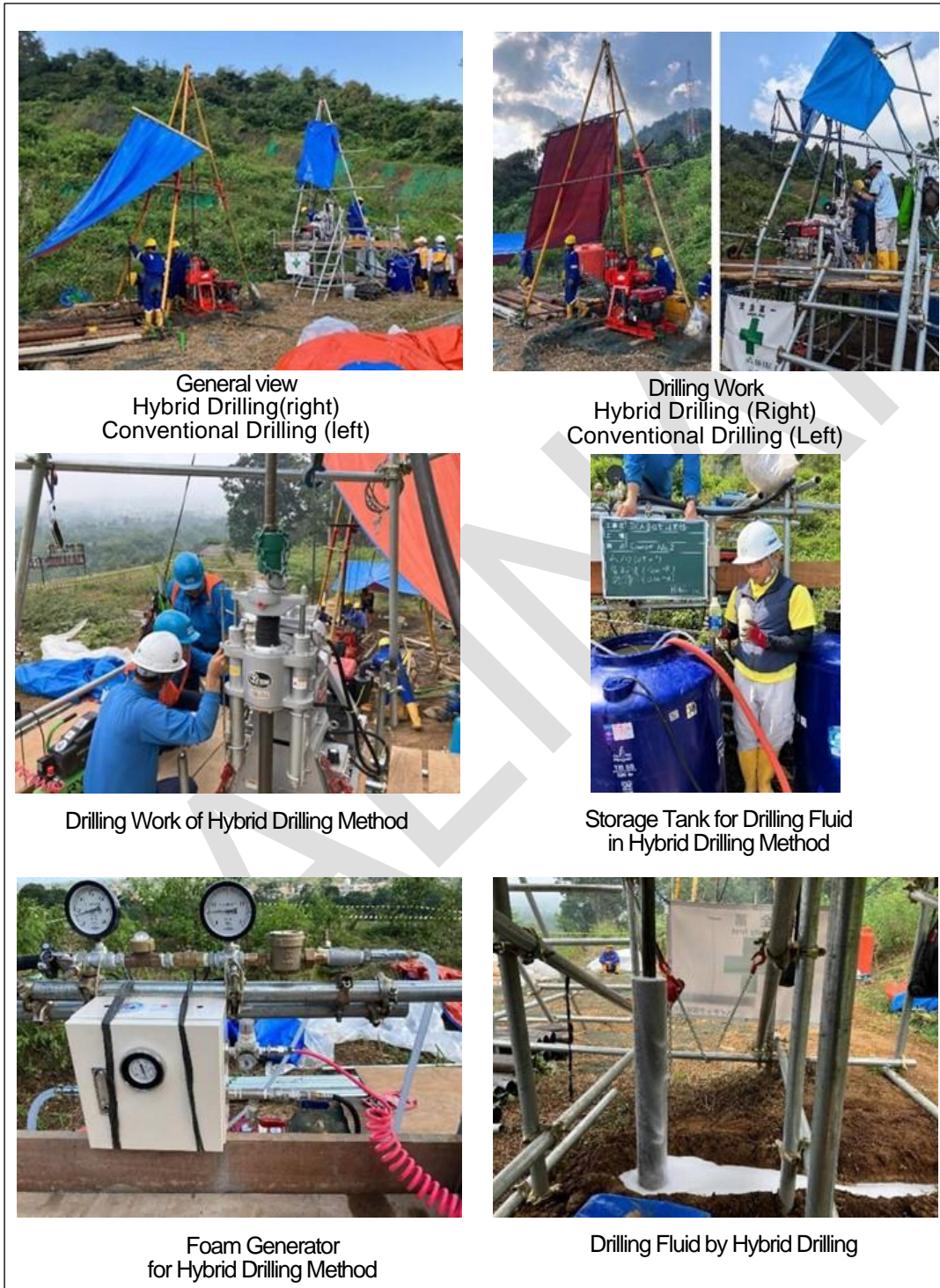


Figure 1-2. Photographs of drilling work at the Cianjur Pancak Area

2. Site 2: Serang-Panimbang Toll Road – Faults and Sliding Planes in Tertiary Clayey Shale

2.1 Background

The drilling site was located in a landslide on a gentle hilly area, along the roadside of the Serang-Panimbang Toll Road (under construction by WIKA), approximately 25 km north of Panimbang City in Banten Province. The depth of the landslide had already been estimated based on inclinometer monitoring. However, the sliding plane was not identified by the drilling core.

A hybrid drilling method was conducted to identify the sliding plane, and a conventional drilling method was also carried out adjacent to the hybrid drilling point to compare the results.



Figure 2-1. Location of site 2 (Serang-Panimbang Toll Road)



2.2 Results and Comparison of Hybrid Drilling with Conventional Drilling

The results of hybrid drilling and conventional drilling are summarized in Table 2-1.

Continuous cores obtained by the hybrid drilling method are shown in Table 2-2. The landslide body and sliding plane were identified in the cores, as shown in Table 2-3. On the other hand, in the cores obtained by the conventional drilling, the depth of the sliding plane was unclear and the landslide body was highly disturbed.

Table 2-1. Summary of the comparison between hybrid drilling and conventional drilling

Item	Description	
Location	Serang-Panimbang Toll Road Construction Site	
Topography	Gentle Hilly, Residential Area	
Geology	Tertiary mudstone, intercalated with sandstone and limestone of the Bojongmanik Formation. The mudstone has swelling and shrinking properties.	
Rock Condition	Hybrid Drilling Method (86 mm in diameter)	Conventional Drilling Method (66 mm in diameter)
Landslide body above the sliding plane	Core recovery: 100% Core disturbance was very little. A complex landslide body disturbed by the landslide movement was observed.	Core recovery: 60%-90% Relatively hard and massive parts were obtained as cylinder-shaped cores. However, most of the soft parts were completely disturbed.
Sliding plane (9,77 m – 10,02 m)	Core recovery: 100% Core disturbance was very little. A sliding plane with slickenside was clearly observed. The exact depth and inclination of the sliding plane were identified.	Core recovery: 80% The core was completely disturbed. A sliding plane could not be identified in the cores.
Stable rock mass under the sliding plane	Core recovery: 100% Clay shells with lamina and fossils of marine shells could be sampled without disturbance. The detailed structure of the mudstone could be observed.	Core recovery: 95%-100% Clay shells could be sampled; however, the detailed structure could not be observed. Some cracks caused by sampling were often observed.

Note: Rock conditions in the above table are based on the results of hybrid drilling.

Table 2-2. Comparison of cores obtained by hybrid drilling and conventional drilling

Hybrid Drilling Method (L = 50,0 m)		Conventional Drilling Method (L = 50,0 m)	
<p>Project Name: Verification Survey for Hybrid Drilling Method Location: No.1 Serang Depth: 0.00m - 50.00m Company Name: HI-TEC Inc.</p> <p>Depth (m): 0 to 49</p> <p>Length 1.00 m</p>		<p>PROJECT: SDG: BUSINESS VERIFICATION SURVEY WITH THE PRIVATE SECTOR FOR HYBRID DRILLING METHOD (GEOLOGY SURVEY TECHNOLOGY) LOCATION: SERANG - PANMBANG POINT NO.: DG-01 (PS) DATE: AUGUST 2nd, 2024 - AUGUST 5th, 2024</p> <p>Depth (m): 0 to 49</p> <p>Length 1.00 m</p>	

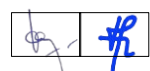
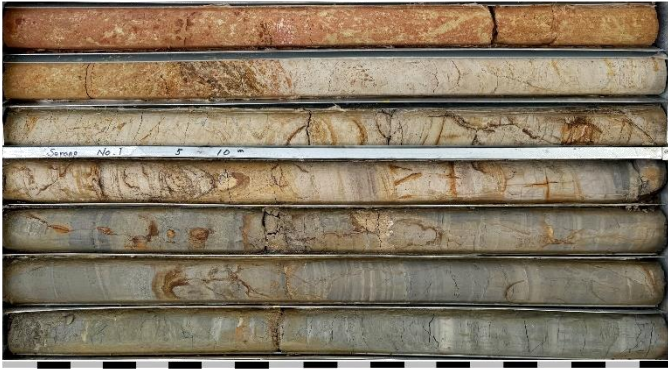


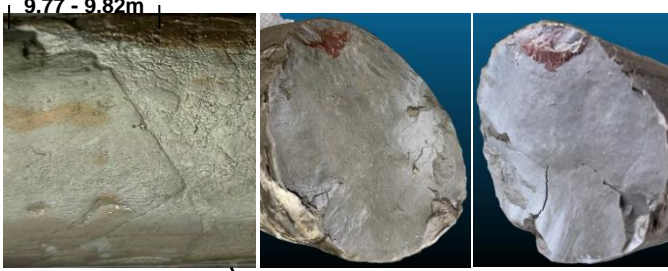


Table 2-3. Close-up photographs of cores from hybrid drilling and conventional drilling

Geological Boundaries in Cores at the Depth of 2 m-9 m		
Hybrid Drilling Method		Description/Feature
Depth(m)		<p>The landslide body could be sampled with very low disturbance.</p> <p>Complex structures in the landslide body were observed. Crack conditions could be evaluated.</p>
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
Conventional Drilling Method		Description/Feature
Depth(m)		<p>The landslide body was mechanically disturbed and fractured by conventional drilling.</p> <p>Crack conditions could not be evaluated.</p>
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
Slip Plane of the Landslide in Core Between 9,77 m and 10,02 m depth		
Hybrid Drilling Method		Description/Feature
<p>Mixture of soft and hard rock, disturbed by landslide movement</p>  <p>9.70 9.77 - 9.82m 10.0</p>  <p>Slickenside</p>		<p>A slickenside and linear structure of sliding surface could be sampled and observed.</p> <p>The complex structure of soft and hard rocks disturbed by the landslide could be observed in the cores.</p> <p>The depth and inclination of the sliding plane could be identified.</p>

2.3 Drilling Works

The hybrid drilling method has demonstrated excellent performance, achieving 100% core recovery with very few disturbed cores. The hybrid drilling method is suitable for investigating landslides in tertiary clayey shale, such as the Serang-Panimbang Toll Road site.

Photographs of the drilling work are shown in Figure 2-2.



Figure 2-2. Photographs of drilling work at Serang-Panimbang Toll Road Site

3. Site 3: Lingkar Pekanbaru Toll Road – Quaternary Peat Layer

3.1 Background

The drilling site is located in a wide swamp along the Lingkar Pekanbaru Toll Road (under construction by Futama Karya), approximately 25 km northwest of Pekanbaru city in Riau Province. Thick peat layers were deposited in the swamp area. The peat layers are very weak and have high water content, making it unsuitable for the highway foundation due to low bearing capacity, which may cause land subsidence. In general, weak ground poses many challenges for the construction and maintenance of highways. However, it is very difficult to obtain cores of peat layers by conventional drilling.

A hybrid drilling method was conducted to confirm the condition of the peat layers, and a conventional drilling was also carried out adjacent to the hybrid drilling point to compare the results.

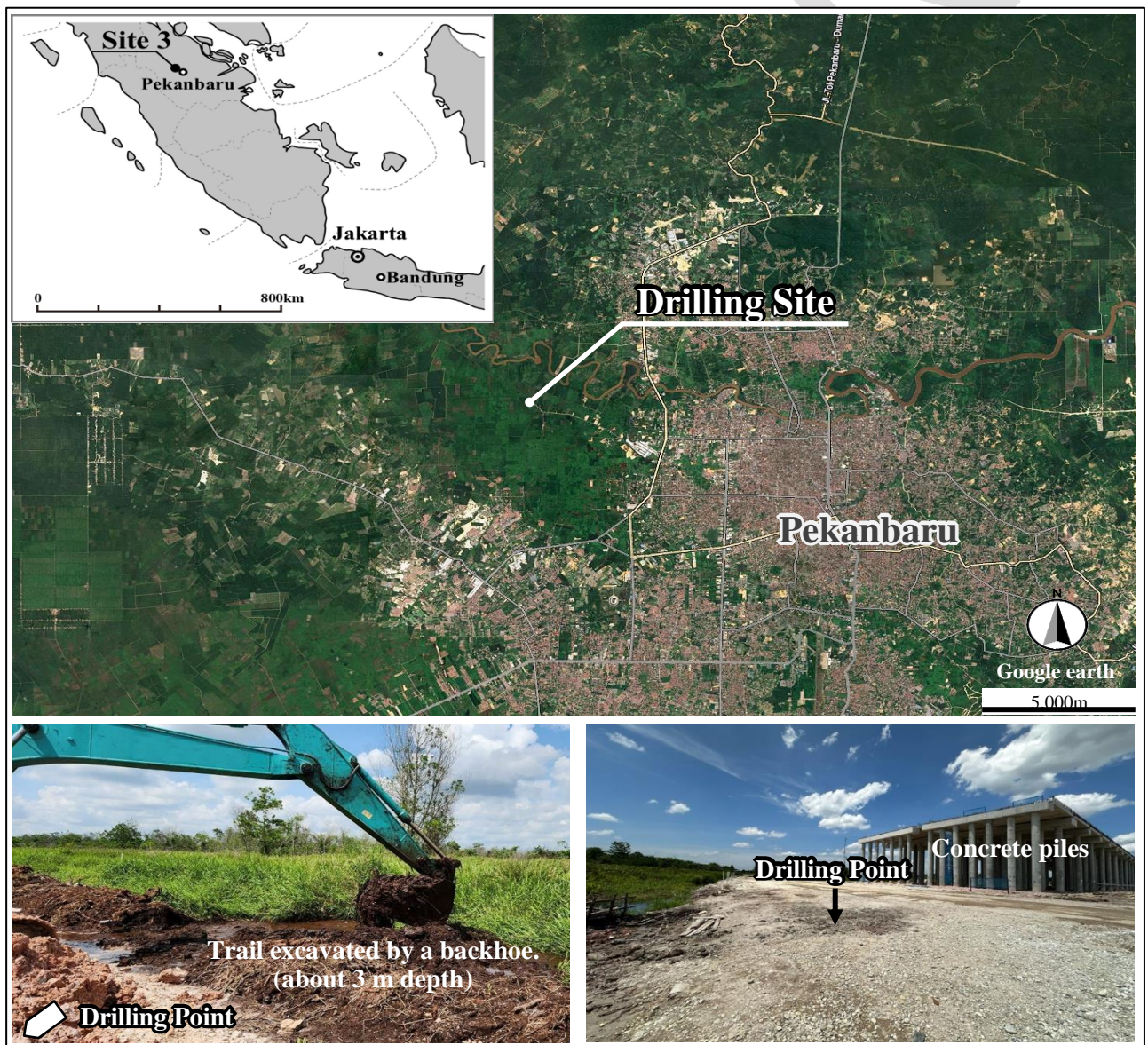


Figure 3-1. Location of site 3 (Lingkar Pekanbaru Toll Road)

3.2 Results and Comparison of Hybrid Drilling with Conventional Drilling

The results of hybrid drilling and conventional drilling are summarized in Table 3-1. Continuous cores obtained by the hybrid drilling method are shown in Table 3-2 and Table 3-3. Low-disturbed cores of peat layers were obtained, as shown in the tables. On the other hand, the cores obtained through the conventional drilling were highly disturbed.

Table 3-1. Summary of the comparison between hybrid drilling and conventional drilling

Item	Description	
Location	Lingkar Pekambaru Toll Road Construction Site, Pekambaru, Riau Province	
Topography	Flat Land (Swamp Area)	
Geology	Alluvial deposits (gravel, sand, clay, peat and organic deposit)	
Geological Condition	Hybrid Drilling Method (86 mm in diameter)	Conventional Drilling Method (66 mm in diameter)
Peat layer and organic materials*	Core recovery: 100% Core disturbance was very little. The cylinder-shaped core could be sampled, making it suitable for laboratory testing.	Core recovery: 70% Peat layers were obtained; however, these were completely disturbed, and some parts were lost.
Very loose sand	Undisturbed cores of very loose sand underlying the peat layers could not be obtained using either drilling method. The sand could be caught in the core tube; however, it fell out during the lifting of the core barrel. The cores at a depth of 15 m to 17 m were collected from the drilling fluid; therefore, these were disturbed, as shown in Table 3-3.	

* Peat has high moisture content; therefore, deformation and compaction can easily occur when drilling cores are sampled. Furthermore, peat is composed of light organic fiber, has very low density, and high porosity, making core sampling very difficult.

Table 3-2. Comparison of cores obtained by hybrid drilling and conventional drilling

Hybrid Drilling Method (L = 50,0 m)		Conventional Drilling Method (L = 50,0 m)	
<p>Project Name: Verification Survey for Hybrid Drilling Method Location: No.3 Pekanbaru Depth: 00.00m ~ 50.00m Company Name: HI-TEC Inc.</p>		<p>PROJECT: SOGSI BUSINESS VERIFICATION SURVEY WITH THE PRIVATE SECTOR FOR HYBRID DRILLING METHOD (GEOLOGY SURVEY TECHNOLOGY) LOCATION: PEKANBARU RING ROAD TOLL ROAD POINT NO: DB-03 (PSI) DATE: SEPTEMBER 27th, 2024 - OCTOBER 4th, 2024</p>	
Depth (m)		Depth (m)	
0	1	0	1
1	2	1	2
2	3	2	3
3	4	3	4
4	5	4	5
5	6	5	6
6	7	6	7
7	8	7	8
8	9	8	9
9	10	9	10
10	11	10	11
11	12	11	12
12	13	12	13
13	14	13	14
14	15	14	15
15	16	15	16
16	17	16	17
17	18	17	18
18	19	18	19
19	20	19	20
20	21	20	21
21	22	21	22
22	23	22	23
23	24	23	24
24	25	24	25
25	26	25	26
26	27	26	27
27	28	27	28
28	29	28	29
29	30	29	30
30	31	30	31
31	32	31	32
32	33	32	33
33	34	33	34
34	35	34	35
35	36	35	36
36	37	36	37
37	38	37	38
38	39	38	39
39	40	39	40
40	41	40	41
41	42	41	42
42	43	42	43
43	44	43	44
44	45	44	45
45	46	45	46
46	47	46	47
47	48	47	48
48	49	48	49
49	50	49	50
Length 1.00 m		Length 1.00 m	



Table 3-3. Close-up photographs of cores from hybrid drilling and conventional drilling

Condition of Peat Layer in Cores at a Depth Between 0 m and 8 m		
Hybrid Drilling Method		Description/Feature
<p>Depth(m)</p> <p>Length 1.00m</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p>	<p>A less disturbed core was collected by the hybrid drilling method. The cylinder-shaped core was collected, and it could be used for laboratory test.</p>
Conventional Drilling Method		Description/Feature
<p>Depth(m)</p> <p>Length 1.00m</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p>	<p>A peat layer could be sampled; however, the sand and silt included in the layer were flown away during drilling, causing the sampled core to be disturbed, and preventing it from retaining its cylinder shape.</p>
Very Loose Sand in Cores at a Depth Between 15 m and 17 m		
Hybrid Drilling Method		Description/Feature
<p>Depth(m)</p> <p>Length 1.00m</p>	<p>15</p> <p>16</p> <p>16</p> <p>17</p>	<p>The drilling core of the very loose and well-sorted sand layer underlying the peat layer could not be obtained by either drilling method. Some parts of the cores fell during the lifting of the core barrel. The cores in the photograph were recovered by re-drilling the samples that had fallen into the borehole, or as cuttings contained in the drilling fluid.</p>
Conventional Drilling Method		
<p>Depth(m)</p> <p>Length 1.00m</p>	<p>15</p> <p>16</p> <p>16</p> <p>17</p>	

3.3 Drilling Work

Photographs of the drilling work are shown in Figure 3-2. The hybrid drilling method demonstrated excellent performance in obtaining low-disturbed cores of the peat layer, whereas it was very difficult for the conventional drilling method. The hybrid drilling is therefore more suitable for obtaining accurate data for risk assessment on highways in peatlands.

It should be noted that, based on the experience at the Lingkar Pekanbaru Toll Road, water with high organic content is likely to affect the generation of bubbles, thus, freshwater should be used for hybrid drilling in swamp areas.

It was also difficult to obtain very loose and well-sorted sands with the hybrid drilling method, although core recovery was much better compared with the conventional drilling method. Other special drilling methods, such as the freezing method, are recommended for undisturbed sampling of this type of sand.

SALINAN



General View of Hybrid Drilling



General View of Conventional Drilling



Drilling Work by Hybrid Drilling Method



Drilling Work by Hybrid Drilling Method



Drilling Fluid Storage for Hybrid Drilling Method



Safety Toolbox Meeting in the Morning for Hybrid Drilling and Conventional Drilling

Figure 3-2. Photographs of drilling work at Lingkar Pekanbaru Toll Road



4. References

The hybrid drilling method is a technology developed in Japan. The performance of the hybrid drilling based on the type used is shown in Figure 4-1. Approximately 60% of the total performance was used for landslide investigation.

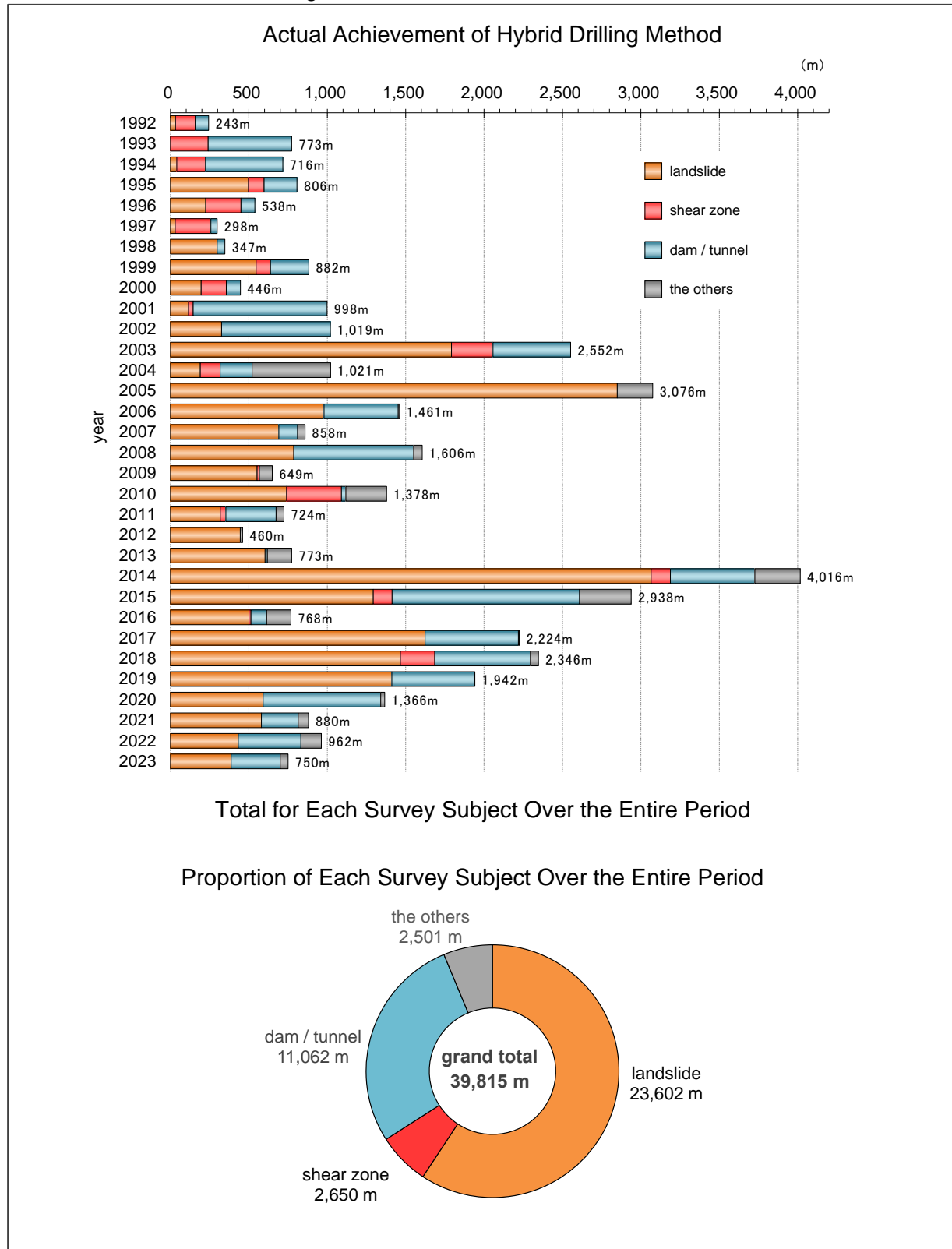


Figure 4-1. Performance of the hybrid drilling method in Japan

