



No. 17/P/BM/2023

PEDOMAN

Bidang Jalan

PELAKSANAAN STABILISASI TANAH-SEMEN TIPE KOLOM



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA



Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga
3. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional
4. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga

SURAT EDARAN

NOMOR: 31 /SE/Db/2023

TENTANG

PEDOMAN PELAKSANAAN STABILISASI TANAH-SEMEN TIPE KOLOM

A. Umum

Stabilisasi tanah-semen tipe kolom merupakan salah satu metode perbaikan tanah pada kondisi tanah dengan kondisi lapisan tanah lunak sehingga dapat menopang konstruksi jalan yang relatif berat. Pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tipe kolom diaplikasikan untuk peningkatan daya dukung, pencegahan keruntuhan geser (*sliding*), pengurangan penurunan (*settlement*), dan pengurangan pergerakan lateral (*lateral displacement*) pada struktur timbunan.

Metode melibatkan penerapan sejumlah kolom yang disusun pada interval tertentu dalam bentuk pola bujur sangkar atau segitiga. Kontribusi daya dukung hasil stabilisasi semen tipe kolom terdiri dari daya dukung tanah hasil perbaikan stabilisasi semen dan daya dukung tanah asli yang ada di sekitar kolom, artinya daya dukung bekerja secara komposit.

Dalam rangka memberikan panduan dalam pelaksanaan metode, Surat Edaran Direktur Jenderal tentang Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom ditetapkan dan digunakan sebagai rujukan.

B. Dasar Pembentukan

1. Peraturan Presiden Nomor 27 Tahun 2020 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 40);
2. Keputusan Presiden Nomor 52/TPA Tahun 2020 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Dari dan Dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
3. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 473) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 11 Tahun 2022 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 1382);

4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 554) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 1144);
5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2023 Persyaratan Teknis Jalan dan Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 372);

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai panduan bagi pelaksana yang akan menggunakan stabilisasi tanah-semen tipe kolom dalam pekerjaan konstruksi jalan.

Surat Edaran ini bertujuan agar pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tipe kolom sesuai dengan kaidah ilmiah yang dibuktikan melalui pengkajian dan penelitian yang mendalam serta didasarkan atas acuan standar teknis.

D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran ini mencakup persyaratan bahan, peralatan, prosedur persiapan konstruksi, manajemen keselamatan kerja, pelaksanaan, penentuan lokasi elemen, dan pengendalian mutu pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tipe kolom untuk pekerjaan konstruksi jalan di Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

E. Pengaturan Mengenai Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom

Pedoman pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tipe kolom memuat pengaturan yang meliputi:

1. Ketentuan Umum

Bagian ini mengatur mengenai elemen stabilisasi tanah-semen tipe kolom harus dibangun sesuai dengan garis, kemiringan, dan penampang yang ditunjukkan dalam rencana, dan harus memenuhi persyaratan kekuatan serta keseragaman yang ditentukan. Pelaksana harus menetapkan prosedur yang konsisten selama konstruksi untuk memastikan bahwa kriteria penerimaan terpenuhi. Prosedur harus ditetapkan berdasarkan hasil program validasi lapangan.

2. Ketentuan Teknis

Bagian ini menentukan mengenai:

- a. tujuan penerapan stabilisasi semen tipe kolom;
- b. persyaratan bahan;
- c. persyaratan peralatan;
- d. prosedur persiapan konstruksi;
- e. manajemen keselamatan dan kesehatan kerja;

- f. pengelolaan material;
- g. pelaksanaan;
- h. penentuan lokasi elemen; dan
- i. pengendalian mutu.

Ketentuan lebih lanjut mengenai pedoman pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tipe kolom termuat dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

F. Penutup

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Tembusan:

- 1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- 2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- 3. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- 4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Ditetapkan di Jakarta
Pada tanggal: 6 Desember 2023
DIREKTUR JENDERAL
BINA MARGA,



HEDY RAHADIAN
NIP 19640314 199003 1 002

PRAKATA

Pedoman ini diperuntukkan bagi pelaksana konstruksi yang akan menggunakan stabilisasi semen tipe kolom untuk gambut dalam pekerjaan jalan. Pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tipe stabilisasi massa tidak menjadi cakupan pedoman ini.

Pedoman dikembangkan melalui kesepakatan kerja sama “*Verification Survey with The Private Sector for Disseminating Japanese Technologies for Introduction of The Ground Improvement with Middle Layer Soil Mixing Method for Development of Transport Infrastructure*” antara Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, *Japan International Cooperation Agency* (JICA), PT Utama Karya, dan YBM co.ltd.

Pedoman disusun oleh Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur dan telah dibahas dalam rapat legalisasi yang diselenggarakan pada tanggal 15 Februari 2023 dihadiri oleh para pemangku kepentingan terkait, yaitu perwakilan pemerintah, pelaku usaha, konsumen, dan pakar.

Jakarta, 6 Desember 2023
Direktur Jenderal Bina Marga,



Hedy Rahadian

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
PENDAHULUAN.....	v
1. Ruang Lingkup.....	1
2. Acuan Normatif.....	1
3. Istilah dan Definisi.....	1
4. Ketentuan.....	3
4.1 Umum.....	3
4.2 Stabilisasi Dalam Tipe Kolom.....	3
4.3 Persyaratan Bahan.....	4
4.4 Persyaratan Peralatan.....	4
4.5 Prosedur Persiapan Konstruksi.....	4
4.5.1 Kalibrasi.....	4
4.5.2 Pengecekan Instrumentasi atau Alat Ukur.....	5
4.5.3 Pengecekan Volume Debit.....	5
4.6 Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.....	7
4.7 Pengelolaan Material.....	7
4.8 Pelaksanaan.....	8
4.8.1 Umum.....	8
4.8.2 Validasi Lapangan.....	8
4.8.3 Persiapan Campuran Bahan Pengikat (Metode Basah).....	8
4.9 Penentuan Lokasi Elemen.....	9
4.9.1 Pencampuran.....	9
4.10 Pengendalian Mutu.....	11
4.10.1 Sampel Inti Kolom Perbaikan dan Pengujian UCS <i>In Situ</i>	12
4.10.2 Konten Laporan.....	12
4.10.3 Pengelolaan Dokumentasi.....	13
Bibliografi.....	14
Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa.....	15

DAFTAR TABEL

Tabel 1 – Pengendalian dalam manajemen status konstruksi	11
--	----

SALINAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 – Stabilisasi dalam tipe kolom	3
Gambar 2 – Ilustrasi penggunaan bobot saat pengukuran	5
Gambar 3 – Contoh pengambilan dokumentasi saat pengecekan 10 bobot 20 kg	5
Gambar 4 – Wadah pengukuran volume debit.....	6
Gambar 5 – Ilustrasi penghitungan jumlah debit/aliran	6

SALINAN

PENDAHULUAN

Pedoman ini didasari oleh kesepakatan kerja sama “*Verification Survey with The Private Sector for Disseminating Japanese Technologies for Introduction of The Ground Improvement with Middle Layer Soil Mixing Method for Development of Transport Infrastructure*” antara Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, *Japan International Cooperation Agency* (JICA), PT Hutama Karya, dan YBM co.ltd.

SALINAN

Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom

1. Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan persyaratan bahan, persyaratan peralatan, prosedur persiapan konstruksi, manajemen keselamatan kerja, pelaksanaan, penentuan lokasi elemen, dan pengendalian mutu dalam pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tipe kolom.

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

2. Acuan Normatif

SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik

SNI 3638:2012, Metode uji kuat tekan-bebas tanah kohesif

3. Istilah dan Definisi

3.1

air pencampur

air yang ditambahkan untuk mengubah stabilisator menjadi suatu bentuk cairan menyerupai pasta

3.2

bahan aditif

bahan tambah selain material pengikat, bentonit, dan air; aditif bisa bersifat pengencer, peningkatan kekuatan, dan penunda reaksi semen

3.3

bahan pengikat

material kimia reaktif (seperti: kapur, semen, gipsum, *blast furnace slag*, abu terbang, atau bahan pengeras lainnya) yang digunakan untuk bahan pencampur tanah *in situ* agar dapat menaikkan kekuatannya serta membentuk kolom perbaikan

3.4

bahan pengisi

material nonreaktif seperti tanah, serbuk batu kapur, dan lainnya

3.5

bahan stabilisator

bahan pengikat yang ditambahkan ke tanah dengan rasio tertentu dengan tujuan meningkatkan nilai kuat geser dan sifat fisik tanah tanpa memperhitungkan perubahan sifat kimia melalui pencampuran

3.6

elemen

merupakan suatu elemen yang dihasilkan dari satu kali siklus penetrasi oleh satu alat pencampur di satu lokasi peralatan

3.7

kuantitas penambahan stabilisator

massa (kg/m^3) stabilisator per 1 m^3 tanah dengan kondisi kadar air lapangan

3.8

pencampuran basah

proses pencampuran mekanis dari tanah setempat dan pencampuran dengan pasta yang terdiri dari air dan bahan pengikat dengan atau tanpa bahan pengisi dan aditif

3.9

pencampuran kering

proses pencampuran mekanis dari tanah setempat dan pencampuran dengan bahan pengikat berbentuk serbuk dengan atau tanpa bahan pengisi dan aditif

3.10

penetrasi

tahap atau fase siklus proses pencampuran di mana alat pencampur dihantarkan ke kedalaman yang sesuai (fase disegregasi) untuk proses injeksi dan disegregasi dan pencampuran untuk injeksi penetrasi

3.11

rasio air semen

perbandingan berat air terhadap berat semen

3.12

rasio air stabilisator

persentase massa air terhadap semen yang ditambahkan berdasarkan kadar air tanah lapangan

3.13

rasio penambahan stabilisator

persentase penambahan bahan penstabilisasi (stabilisator) pada massa tanah berdasarkan rasio air semen lapangan

3.14

rasio perbaikan

luas area yang distabilisasi berdasarkan jumlah kolom per luas seluruh area yang ditangani

3.15

semen

kombinasi kimia antara kalsium (Ca), silika (Si), alumunium (Al), besi (Fe), dan gipsum yang dikendalikan secara ketat

3.16

stabilisasi semen untuk tanah

campuran yang dibentuk dengan menambahkan stabilisator ke tanah

3.17

stroke

satu proses siklus lengkap (penetrasi dan penarikan) dari proses pencampuran

3.18

tanah-semen

produk dari stabilisasi yang terdiri campuran tanah setempat dan bahan pengikat; biasa juga disebut tanah yang distabilisasi atau material stabilisasi

4. Ketentuan

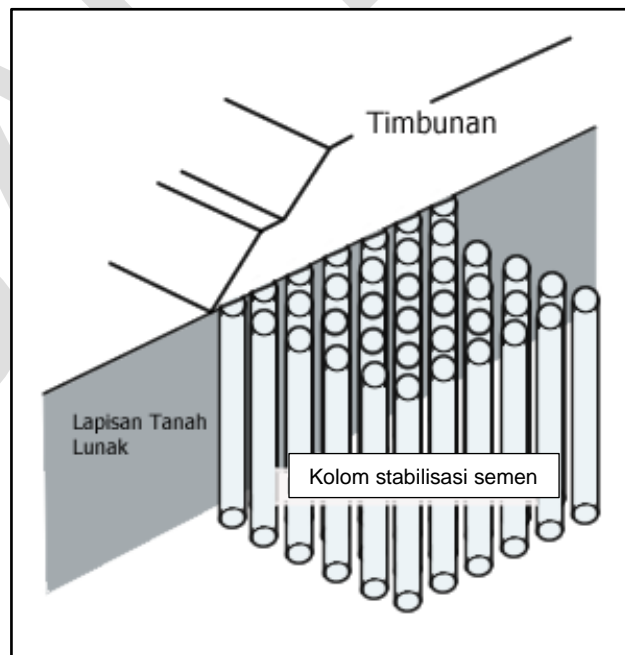
4.1 Umum

Seluruh elemen stabilisasi tanah-semen tipe kolom harus dibangun sesuai dengan garis, kemiringan, dan penampang yang ditunjukkan dalam rencana dan harus memenuhi persyaratan kekuatan dan keseragaman yang ditentukan. Pelaksana pekerjaan harus menetapkan prosedur yang konsisten selama konstruksi untuk memastikan bahwa kriteria penerimaan terpenuhi. Prosedur harus ditetapkan berdasarkan hasil program validasi lapangan.

4.2 Stabilisasi Dalam Tipe Kolom

Stabilisasi semen tipe kolom adalah metode perbaikan tanah di mana sejumlah kolom perbaikan disusun pada interval tertentu dalam bentuk pola bujur sangkar atau segitiga untuk membentuk tanah yang lebih baik. Stabilisasi semen tipe kolom diaplikasikan untuk pencegahan keruntuhan geser (*sliding*), pengurangan penurunan (*settlement*), peningkatan daya dukung, serta pengurangan pergerakan lateral (*lateral displacement*) pada struktur timbunan.

Kontribusi daya dukung hasil stabilisasi semen tipe kolom terdiri dari daya dukung tanah hasil perbaikan stabilisasi semen dan daya dukung tanah asli yang ada di sekitar kolom, artinya daya dukung bekerja secara komposit. Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi stabilisasi tipe kolom.



Gambar 1 – Stabilisasi dalam tipe kolom

Dengan demikian daya dukung hasil stabilisasi semen tipe kolom sangat dipengaruhi oleh bentuk atau geometri (pola *grid*, rasio lebar, dan kedalaman), kekuatan geser tanah komposit, kekuatan tanah hasil stabilisasi, kualitas campuran stabilisasi semen yang digunakan (kekuatan dan variasi) serta keamanan terhadap daya dukung, geser, serta pengaruh penurunan. Oleh karena itu, hal-hal tersebut perlu ditentukan secara tepat, efisien, dan efektif pada saat proses perancangan agar mengurangi adanya perbedaan dalam perilaku tanah komposit hasil stabilisasi semen dengan target perancangan. Selain pertimbangan dari segi kebutuhan perancangan perlu juga dilakukan tinjauan yang komprehensif dari segi ekonomi, kelayakan konstruksi termasuk tindakan alternatif lainnya. Jika perilaku tanah komposit yang diharapkan tidak dapat dihasilkan, maka perlu dilakukan peninjauan alternatif struktural.

4.3 Persyaratan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk campuran stabilisasi tanah semen tipe kolom sesuai dengan persyaratan bahan dalam Pedoman Perancangan Stabilisasi Tanah Semen Tipe Kolom.

4.4 Persyaratan Peralatan

Peralatan pencampur harus memiliki ukuran, kapasitas, dan torsi yang cukup untuk melakukan pencampuran yang diperlukan hingga kedalaman yang direncanakan. Karakteristik peralatan pencampur adalah sebagai berikut.

- a. Peralatan harus mampu maju melalui elemen yang telah dibuat sebelumnya untuk mencapai desain tumpang tindih atau pencampuran ulang sesuai kebutuhan dan cukup untuk mempertahankan putaran per menit yang diperlukan dan tingkat penetrasi pada kedalaman maksimum untuk mencapai pencampuran menyeluruh.
- b. Peralatan pencampuran dan injeksi harus cukup untuk mencampur dan mendistribusikan pengikat dengan tanah setempat secara memadai untuk memberikan kekuatan yang dibutuhkan.
- c. Alat pencampur harus diberi tanda yang memadai untuk memungkinkan pengawas pekerjaan mengkonfirmasi kedalaman penetrasi selama konstruksi. Jika *rig* dengan berbagai panjang alat pencampur digunakan, alat terpendek harus diperpanjang hingga elevasi terminasi elemen terendah yang ditunjukkan dalam rencana.
- d. Semua peralatan harus memiliki peralatan pemantauan untuk memungkinkan pemantauan, pengendalian yang akurat, dan berkelanjutan dari kedalaman alat pencampur, lokasi, laju dan faktor aliran volume pengikat, tekanan dan jumlah injeksi pengikat, tekanan dan jumlah injeksi pengikat, kecepatan rotasi alat, kemajuan alat, dan laju penarikan.
- e. Peralatan pemantauan harus dikalibrasi pada awal proyek dan data harus diserahkan kepada pengawas pekerjaan. Kalibrasi harus dilakukan setiap 3 (tiga) bulan.
- f. Pemberi pekerjaan dan/atau pengawas pekerjaan harus memiliki akses ke peralatan pemantauan.

4.5 Prosedur Persiapan Konstruksi

4.5.1 Kalibrasi

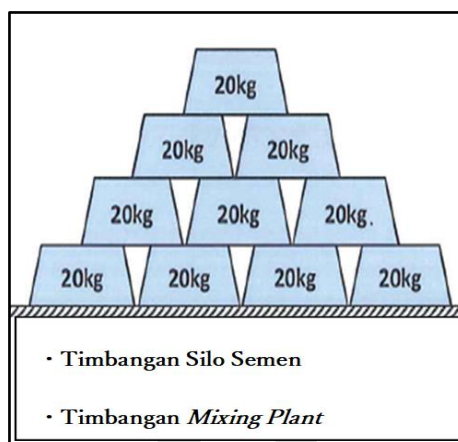
Pada saat kalibrasi, lakukan pengecekan dimensi dan kinerja mesin/peralatan sebelum memulai konstruksi, yaitu:

- a. mengukur secara akurat laju debit semen *slurry* serta pengukuran air dan semen;
- b. memeriksa dan mengoreksi peralatan/mesin dan perangkat manajemen konstruksi, sehingga diameter perbaikan dan kedalaman perbaikan dapat dibangun secara akurat.

4.5.2 Pengecekan Instrumentasi atau Alat Ukur

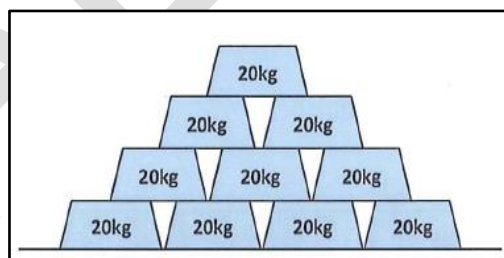
Tahap yang harus dilakukan pada saat pengecekan instrumentasi atau alat ukur, adalah sebagai berikut.

- a. Alat ukur semen harus dilakukan dengan menggunakan 10 bobot 20 kg yang tersertifikasi dengan nilai toleransi $\pm 2\%$ (lihat ilustrasi pada Gambar 2).
- b. Lakukan pengambilan dokumentasi pada saat pengecekan 10 bobot 20 kg.
- c. Letakkan 10 bobot 20 kg (200 kg) di atas timbangan *silo* semen atau timbangan *mixing plant* dengan nilai toleransi $\pm 2\%$ (Gambar 2).



Gambar 2 – Ilustrasi penggunaan bobot saat pengukuran

- d. Lakukan pengambilan dokumentasi saat pengecekan beban dengan berat 20 kg x 10 bobot (Gambar 3).



Gambar 3 – Contoh pengambilan dokumentasi saat pengecekan 10 bobot 20 kg

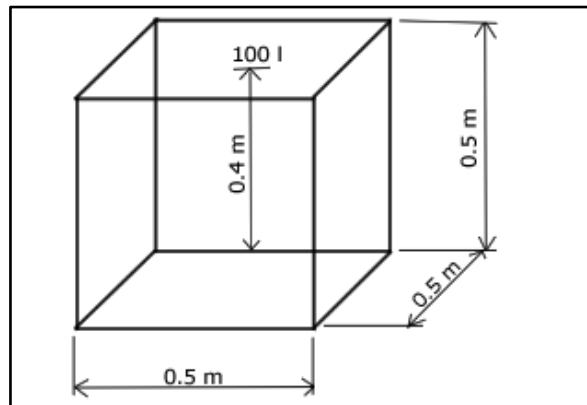
- e. Lakukan pengambilan dokumentasi saat pengecekan nilai penimbang beban 200 kg.
- f. Periksa dan siapkan penempatan 10 bobot 20 kg di awal, sehingga nilai yang diukur berada dalam kisaran yang diizinkan (nilai toleransi).

4.5.3 Pengecekan Volume Debit

Tahap yang harus dilakukan pada saat pengecekan volume debit, adalah sebagai berikut.

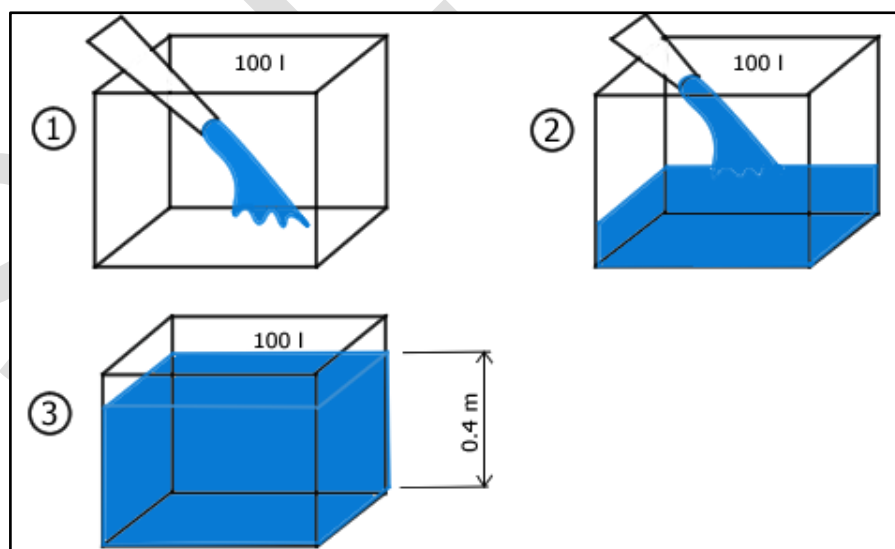
- a. Lakukan pemeriksaan kinerja *flow meter* untuk memastikan volume *discharge* semen.
- b. Periksa laju debit *flow meter* dengan menggunakan air bersih.

- c. Siapkan wadah untuk pengukuran. Dimensi dalam: Panjang x Lebar x Tinggi = 0,5 x 0,5 x 0,5 m (Gambar 4).
- d. Tandai di mana posisi air sejumlah 100 l. Dimensi dalam (H) posisi 400.



Gambar 4 – Wadah pengukuran volume debit

- e. Gunakan level horizontal untuk menstabilkan dan meratakan keempat level.
- f. Jumlah debit distabilkan pada jumlah debit/aliran seketika 100l/min, dan dokumentasikan nilai hitungan laju debit/aliran.
- g. Dengan menggunakan *stopwatch*, hitung jumlah debit/aliran per menit sesuai dengan instruksi pemberi sinyal.
 - 1) Secara bersamaan, ukur laju debit/aliran terintegrasi dari nilai jumlah debit/aliran dan 100l di dalam alat ukur, lalu bandingkan kesalahan volume air.
 - 2) Setelah pengukuran, pastikan nilai yang diizinkan (nilai toleransi) dan dokumentasikan jumlah air pada wadah ukur serta nilai terintegrasi *flow meter* (lihat ilustrasi pada Gambar 5).



Gambar 5 – Ilustrasi penghitungan jumlah debit/aliran

4.6 Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Saat melakukan pekerjaan perbaikan tanah, selain pedoman manajemen keselamatan umum perlu ditentukan jenis-jenis manajemen keselamatan di dalam perusahaan, serta melakukan pekerjaan yang aman dengan mematuhi hal tersebut seperti yang diuraikan sebagai berikut.

- a. Pencegahan kecelakaan bagi pendatang baru, meliputi:
 - 1) Sosialisasi aturan (induksi) secara menyeluruh di setiap lokasi kerja.
Induksi adalah penjelasan aturan terutama larangan untuk pendatang baru (*visitor*) baik pencegahan kecelakaan maupun larangan gangguan terhadap lingkungan sekitar lokasi pekerjaan dan pendatang menandatangani formulir isian yang dimaksud. Pendatang baru yang akan melakukan kegiatan pekerjaan fisik diengkapi dengan *medical check up*.
 - 2) Pelaksanaan pelatihan (perakitan dan pembongkaran/pelaksanaan) dengan menggunakan data pelatihan berdasarkan jenis pekerjaan.
- b. Pencegahan kecelakaan alat berat, meliputi:
 - 1) Pelaksanaan inspeksi sebelum mulai mengoperasikan alat berat, kemudian melakukan pencatatan.
 - 2) Menghindari kecelakaan jatuhnya alat berat pada saat proses pemindahan.
 - 3) Meneliti secara menyeluruh (khususnya pada saat mundur) saat memindahkan alat berat.
 - 4) Meneliti konfirmasi sinyal.
- c. Pencegahan kecelakaan pihak ketiga, meliputi:
 - 1) Pemberian larangan masuk pihak ketiga.
 - 2) Pemberian peringatan saat berada di sekitar gerbang keluar masuk.
 - 3) Mematuhi peraturan lalu lintas saat melintasi lokasi kerja.
- d. Pencegahan benturan, jatuh/tumbang, dan lainnya, meliputi:
 - 1) Menggunakan pakaian yang cocok untuk bekerja, sabuk pengaman, pelindung kepala mesin konstruksi, dan sepatu keselamatan.
 - 2) Pemeriksaan rantai kerja atau kondisi *curing* di lokasi kerja saat melakukan perakitan atau pembongkaran mesin konstruksi/*plant*.
 - 3) Persiapan atau langkah-langkah pencegahan hamburan/percikan semen.
 - 4) Melakukan inspeksi *sling wire* sebelum digunakan.
 - 5) Penggunaan pagar serta peralatan bantu untuk mencegah risiko jatuh pada saat bekerja di ketinggian.
- e. Pencegahan kecelakaan kelistrikan, meliputi:
 - 1) Penunjukan orang yang mengikuti pendidikan khusus penanganan listrik tegangan rendah untuk pengecekan koneksi kabel.
 - 2) Tidak menggunakan kabel yang sudah tua.
 - 3) Melakukan langkah-langkah pencatatan dengan saksama pada bagian tengah kabel dan bagian koneksi kabel.
 - 4) Melakukan pemeriksaan *plant* dan generator sebelum memulai pengoperasian.

4.7 Pengelolaan Material

Pada proses ini, dilaksanakan pengangkutan dan penyimpanan material semen sebagai berikut.

- a. Semen diangkut dengan truk tangki dan disimpan secara ketat di dalam *silo* semen.

- b. Saat menggunakan 1 ton *jumbo bag*, simpan semen secara ketat dan pertimbangkan penanganan pencegahan terkena air/basah.
- c. Lakukan inspeksi penerimaan material atas arahan penanggung jawab setiap kali material datang.

4.8 Pelaksanaan

4.8.1 Umum

Elemen campuran harus dibangun sesuai dengan garis, kemiringan, dan penampang yang ditunjukkan dalam rencana dan harus memenuhi persyaratan kekuatan dan keseragaman yang ditentukan. Pelaksana pekerjaan harus menetapkan prosedur yang konsisten selama konstruksi untuk memastikan bahwa kriteria penerimaan terpenuhi. Prosedur harus ditetapkan berdasarkan hasil program validasi lapangan.

4.8.2 Validasi Lapangan

Berikut butir-butir yang perlu dilakukan dalam validasi lapangan:

- a. Sebelum dilakukan produksi, pelaksana pekerjaan harus melakukan uji coba di lokasi untuk memverifikasi bahwa peralatan, prosedur, dan desain campuran yang diusulkan pelaksana pekerjaan dapat mencampur tanah di lokasi secara seragam dan mencapai persyaratan produk.
- b. Pelaksana pekerjaan harus menyerahkan hasil validasi lapangan kepada pemberi pekerjaan.
- c. Pengujian skala laboratorium harus dilaksanakan untuk mengidentifikasi desain campuran awal untuk digunakan dalam program validasi lapangan. Sampel tanah dari lokasi harus diperoleh oleh kontraktor. Serangkaian tiga desain campuran diperlukan untuk setiap lapisan tanah utama yang ditemui hingga kedalaman akhir yang diharapkan dari elemen-elemen tersebut.
- d. Pengujian skala lapangan harus dilakukan di lokasi rencana. Pelaksana pekerjaan harus menyerahkan gambar rencana yang menunjukkan lokasi elemen seksi pengujian. Setidaknya 3 (tiga) elemen harus dilaksanakan dengan parameter pencampuran yang berbeda untuk setiap elemen. Setiap elemen harus memanjang dari elevasi atas ke elevasi bawah (atau diperlukan penetrasi ke lapisan tanah keras) jika parameter pencampuran yang berbeda dilaksanakan. Setidaknya satu inti menerus/*continues coring* harus diperoleh dari setiap elemen atau kelompok elemen yang dilakukan menggunakan parameter pencampuran yang sama.
- e. Sampel inti menerus dengan kedalaman penuh dari elemen yang uji harus diserahkan oleh pelaksana pekerjaan ke laboratorium independen yang disetujui untuk pengujian. Pelaksana pekerjaan dapat mengusulkan teknik pengambilan sampel lain untuk mendapatkan sampel menerus dari bahan stabilisasi tanah semen yang jika disetujui oleh pengawas pekerjaan dapat diserahkan sebagai bukti lebih lanjut pemenuhan persyaratan penerimaan.

4.8.3 Persiapan Campuran Bahan Pengikat (Metode Basah)

Persiapan campuran bahan pengikat (metode basah) sebagai berikut:

- a. Pelaksana pekerjaan harus melakukan pencampuran dari bahan pengikat dan air di alat pencampur untuk menghasilkan pasta mengikat yang seragam di dalam air.

- b. Pasta harus disimpan dalam tangki agitasi untuk penahanan maksimal 4 jam. Waktu penahanan dihitung dari awal pencampuran awal.
- c. Densitas harus diukur sesuai dengan persyaratan. Jika kepadatan pasta berada di luar nilai toleransi yang disyaratkan dari campuran desain, pelaksana pekerjaan harus mengkalibrasi ulang peralatan pemantauan, dan melakukan pengujian tambahan seperti yang diminta oleh pengawas pekerjaan tanpa biaya tambahan kepada pemilik pekerjaan. Pelaksana pekerjaan juga dapat menyesuaikan jumlah pengikat atau air dengan tepat dan menguji ulang tanpa biaya tambahan kepada pemilik pekerjaan. Berat jenis pasta pengikat yang diukur selama produksi tidak boleh menyimpang lebih dari 3% dari berat jenis yang ditetapkan.
- d. Data pemantauan harus dicatat dalam laporan produksi harian.

4.9 Penentuan Lokasi Elemen

- a. Sebelum melaksanakan pekerjaan, pelaksana pekerjaan harus secara akurat melakukan penentuan lokasi elemen campuran stabilisasi tanah semen yang ditunjukkan dalam rencana dengan menggunakan tenaga surveyor berlisensi. Pelaksana pekerjaan harus menyediakan metode yang memadai untuk menemukan elemen agar pengawas pekerjaan dapat memverifikasi lokasi *as-built* elemen selama konstruksi. Pelaksana pekerjaan tidak diberi kompensasi untuk elemen yang terletak di luar toleransi yang ditentukan. Pemilik pekerjaan akan meninjau lokasi elemen yang tidak sejajar untuk menentukan apakah elemen tersebut mengganggu konstruksi yang diusulkan. Jika pemilik pekerjaan menentukan bahwa elemen yang tidak sejajar akan mengganggu konstruksi, kontraktor harus memperbaiki penjarangannya. Metode koreksi harus diserahkan oleh pelaksana pekerjaan kepada pemilik pekerjaan/pengawas pekerjaan untuk ditinjau dan disetujui.
- b. Jika ditemukan kendala yang menghalangi pekerjaan pengeboran, pelaksana pekerjaan harus segera memberi tahu pengawas pekerjaan, dan menyelidiki lokasi serta luasnya penghalang dengan menggunakan metode yang disetujui oleh pengawas pekerjaan. Pelaksana pekerjaan harus mengusulkan tindakan perbaikan untuk membersihkan penghalang untuk disetujui oleh pengawas pekerjaan. Pelaksana pekerjaan akan diberi kompensasi untuk pemindahan atau pembersihan penghalang dengan persetujuan dahulu dari pemilik pekerjaan. Jika elemen tidak dapat dilaksanakan di lokasi desain karena penghalang, elemen harus dipindahkan seperti yang diarahkan oleh pengawas pekerjaan.

4.9.1 Pencampuran

- a. Peralatan, prosedur pelaksanaan, bahan, dan metode pengambilan sampel dan pengujian yang ditetapkan selama validasi lapangan hendaklah digunakan untuk produksi.
- b. Jika pelaksana pekerjaan harus memodifikasi metode yang telah ditetapkan karena kerusakan peralatan, perubahan tenaga kerja, atau kondisi yang lebih baik, uji coba baru harus dilaksanakan tanpa biaya kepada pemilik pekerjaan. Jika pemilik pekerjaan meminta modifikasi sarana dan metode untuk desain atau alasan lain (misalnya kondisi lokasi berbeda dari yang ditemui selama eksplorasi geoteknik dan program uji pra-produksi), kontraktor harus diberi kompensasi untuk seksi uji baru.

- c. Pelaksanaan setiap kolom harus dilakukan secara menerus. Jika terjadi gangguan lebih dari 1 jam, elemen harus dicampur ulang sambil menginjeksi pengikat pada tingkat desain untuk seluruh ketinggian elemen tanpa biaya tambahan kepada pemilik pekerjaan.
- d. Laju injeksi pasta pengikat: pelaksana pekerjaan harus mencatat dalam laporan produksi harian secara *real-time* berat bahan pengikat kering atau volume pasta pengikat yang disuntikkan untuk setiap 1 meter (diukur secara vertikal) selama penetrasi dan untuk setiap elemen. Jika berat bahan pengikat kering atau volume bubur pengikat yang disuntikkan per meter vertikal kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk memenuhi faktor pengikat atau rasio volume yang ditetapkan selama validasi lapangan, elemen harus dicampur ulang, dan pengikat tambahan harus diinjeksi pada tingkat injeksi bahan pengikat desain ke kedalaman setidaknya 1 meter di bawah zona defisit tanpa biaya tambahan kepada pemilik pekerjaan. Faktor bahan pengikat harus dicatat dan diplot terhadap kedalaman, dan catatan harus dapat dilihat oleh operator di *layer* selama konstruksi sehingga penyesuaian yang tepat dapat dilakukan secara *real-time*.
- e. Kecepatan rotasi dan laju penetrasi/penarikan: Kecepatan rotasi dan laju penetrasi/penarikan yang diperlukan untuk berbagai lapisan tanah yang ditemui harus ditentukan selama program validasi lapangan. Laju penetrasi dan penarikan harus dipantau secara *real-time*. Jika jumlah total putaran pisau pencampur per meter gerakan poros lebih dari 15% di bawah nilai yang ditentukan untuk dapat diterima secara andal dari validasi lapangan, bagian kolom/elemen harus dicampur ulang bersamaan dengan menginjeksi *grout* pada laju injeksi bahan pengikat desain.
- f. Alinyemen vertikal: pelaksana pekerjaan harus memantau dan mengontrol kesejajaran vertikal gerakan alat pencampur dalam dua arah (memanjang dan melintang terhadap alinyemen dari elemen). Kesejajaran vertikal harus dipertahankan dalam 1% tegak lurus selama pelaksanaan elemen.
- g. Elevasi elemen atas dan bawah
 - 1) Elemen harus dipasang sesuai dengan garis dan kelandaian yang ditunjukkan dalam rencana.
 - 2) Kedalaman total penetrasi harus diukur baik dengan mengamati panjang poros pencampur yang dimasukkan di bawah titik acuan pada tiang atau dengan mengurangi panjang poros yang terbuka di atas titik acuan dari total panjang poros. Kehati-hatian harus diberikan untuk memperhatikan pengangkatan permukaan tanah yang dapat mempengaruhi titik referensi untuk mengukur panjang poros pencampuran. Pelaksana pekerjaan harus mencatat dan merekam pada laporan produksi harian kedalaman akhir. Peralatan harus diberi tanda yang memadai untuk memungkinkan pengawas pekerjaan memastikan kedalaman penetrasi selama konstruksi.
 - 3) Jika elevasi bagian atas tanah ditemukan berbeda dari yang diperkirakan, pengawas pekerjaan dapat mengarahkan pelaksana pekerjaan untuk memperpendek atau memperdalam elemen. Pengukuran torsi, tekanan turun, dan atau perubahan kecepatan rotasi dapat digunakan sebagai indikasi kedalaman terminasi jika korelasi yang sesuai dapat dikembangkan oleh pelaksana pekerjaan. Pelaksana pekerjaan akan diberi kompensasi berdasarkan penurunan atau peningkatan jumlah pencampuran karena kedalaman terminasi bervariasi. Pelaksana pekerjaan tidak boleh diberi kompensasi untuk setiap bagian elemen yang berada di atas elevasi dasar yang ditunjukkan pada gambar rencana kecuali disetujui oleh pengawas pekerjaan.

- h. Pencampuran dasar: Pelaksana pekerjaan harus melakukan pencampuran dasar sebagaimana ditetapkan dalam validasi lapangan.
- i. Pengendalian material buangan: Pelaksana pekerjaan harus mengontrol dan membuang semua bahan limbah yang dihasilkan dari operasi pencampuran sesuai dengan persyaratan proyek. Area yang ditentukan dalam rencana harus digunakan untuk menampung dan memproses material buangan.

4.10 Pengendalian Mutu

Tabel 1 menunjukkan jenis-jenis kegiatan pengendalian yang dipandang perlu dalam manajemen status konstruksi, dilengkapi dengan frekuensi pelaksanaannya.

Tabel 1 – Pengendalian dalam manajemen status konstruksi

Jenis pengendalian	Konten	Standar	Ketelitian Unit Pengukuran	Frekuensi
Manajemen Pra-Konstruksi	Inspeksi bentuk pisau pengaduk	Lebih besar dari nilai perancangan	1 cm	Sebelum konstruksi
	Kalibrasi timbangan	± 2 kg dari berat yang diketahui	2 kg	
	Kalibrasi pengukur kedalaman	± 0 cm	1 cm	
	Kalibrasi <i>speedometer</i>	$\pm 0,05$ m/menit	0,01 m/menit	
	Kalibrasi putaran	± 2 rpm	1 rpm	
	Kecepatan aliran <i>slurry</i>	± 2 l/menit	1 l/menit	
Posisi penempatan	Survei dasar	Lebih besar ± 2 cm nilai perancangan	1 cm	Untuk setiap perbaikan kolom
	Pengaturan bagian tengah (<i>center</i>) kolom	Patok rencana	Patok rencana	
Manajemen posisi vertikal	Posisi vertikal <i>leader</i>	0 derajat $\pm 0,1$ derajat	0,1 derajat (6 menit) diukur dengan menggunakan <i>total station</i>	Untuk setiap kolom perbaikan
Manajemen panjang penetrasi dan panjang perbaikan	Manajemen panjang penetrasi dan perbaikan	Lebih besar dari nilai perancangan	10 cm	Untuk setiap kolom perbaikan
Konsumsi material perbaikan	Jumlah material perbaikan yang terpakai	Lebih besar dari jumlah perancangan penggunaan	5 kg	Untuk setiap kolom perbaikan
Manajemen produksi	Pengeboran investigasi verifikasi/validasi diameter kolom	Lebih besar dari nilai perancangan	1 cm	Untuk setiap kolom perbaikan
	Jarak antarkolom		1 cm	
	Ketinggian standar	- 5 cm dari nilai perancangan	1 cm	
	Panjang perbaikan	Lebih besar dari nilai perancangan	10 cm	

Jenis pengendalian	Konten	Standar	Ketelitian Unit Pengukuran	Frekuensi
Manajemen pengaduk	Kecepatan penetrasi dan penarikan	Nilai kontrol $\pm 5\%$	0,1 m / menit	Untuk setiap kolom perbaikan
	Jumlah pengadukan	400 kali/m	1 kali	
	Kecepatan rotasi pengeboran	Nilai kontrol $\pm 5\%$	1 rpm	
	Kecepatan injeksi material perbaikan	Nilai kontrol $\pm 5\%$	2 kg	
Pengendalian mutu material	Mutu semen	SNI	-	Pagi dan sore
	Berat jenis <i>slurry</i>	$\pm 2\%$ dari nilai perancangan	0,01	Saat konstruksi
Kualitas kolom perbaikan	Uji UCS pada tanah perbaikan	-	10 kN/m ²	Setiap detail kuantitas
Manajemen penggunaan material	Jumlah total dan penggunaan	-	5 kg	Setiap konstruksi selesai

4.10.1 Sampel Inti Kolom Perbaikan dan Pengujian UCS *in Situ*

Sampel tanah-semen dari kolom untuk pengujian kuat tekan *in situ* didapatkan dari sampel inti hasil pengeboran sepanjang kolom perbaikan. Pengambilan sampel inti ini memberikan representasi dari keseragaman dan kekuatan kolom perbaikan. Sampel inti diambil dengan menggunakan teknik *double tube sampling* atau *triple tube sampling*.

Pengeboran sampel inti dilakukan secara menerus dari bagian atas sampai dasar kolom perbaikan. Sampel inti memiliki diameter kurang lebih 64 mm dan diambil per 1 meter yang kemudian disimpan pada *core box*. Sampel inti harus diambil pada jarak seperempat diameter kolom dari pusat kolom. Jumlah pengeboran sampel menerus ini harus dilakukan minimal 3% dari setiap elemen.

Pada 5 (lima) spesimen sampel uji harus dikumpulkan dari setiap sampel menerus yang diambil untuk diuji kuat tekan. Pemilihan spesimen sampel untuk diuji kuat tekan harus dilakukan oleh seorang *engineer* untuk mengurangi potensi bias dari data yang dihasilkan. *Bor log* dan seluruh spesimen yang dipilih harus dibungkus plastik untuk menjaga kondisi alami dan disimpan dalam ruangan yang lembap sampai umur rencananya tercapai untuk diuji kuat tekannya. Sangat penting untuk mengeluarkan udara semaksimal mungkin sebelum spesimen dibungkus untuk mencegah spesimen mengembang. Pengujian kuat tekan 7 (tujuh) dan 28 (dua puluh delapan) hari dilakukan berdasarkan SNI 3638:2012.

4.10.2 Sistematika laporan

Berikut ini merupakan butir-butir yang harus dipenuhi pada saat menyusun laporan pekerjaan stabilisasi tipe kolom untuk gambut.

- Nomor kolom perbaikan;
- Diameter kolom dan panjang konstruksi;
- Komposisi bahan pengikat, bahan pengisi, dan bahan aditif;
- Kalibrasi;

- e. Foto-foto konstruksi;
- f. UCS *in situ*;
- g. Data konstruksi:
 - 1) Rekam data/*logbook*;
 - 2) Nomor kolom;
 - 3) Tanggal konstruksi;
 - 4) Waktu konstruksi dan kedalaman;
 - 5) Masing-masing data (pengeboran, kecepatan penarikan, total debit injeksi, total jumlah putaran, total jumlah pemotongan *blade*, dan lainnya);
 - 6) Sketsa titik titik kolom stabilisasi tanah-semen.

4.10.3 Pengelolaan Dokumentasi

Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam pengelolaan dokumentasi pekerjaan, adalah sebagai berikut:

- a. Posisi konstruksi, meliputi:
Tampilan penuh sebelum konstruksi serta setelah konstruksi selesai.
- b. Kondisi selama masa konstruksi, meliputi:
Proses konstruksi, awal, dan akhir pengeboran, penyelesaian *casting*, pengukuran kepala kolom (hal ini dilakukan setiap 1 titik per 20 kolom).
- c. Mesin yang digunakan, meliputi:
Mesin perbaikan tanah, *mixing plant*, skala pengukuran *rod*, dan skala pengukuran pisau pengaduk.
- d. Inspeksi material, yaitu:
Pada saat kedatangan dan pembongkaran (mobilisasi-demobilisasi) material di gudang.

Bibliografi

CERI. 2017. *Manual for Countermeasure for Peat Soft Ground. Civil Engineering Research Institute for Cold Region.*

FHWA-HRT-13-046, Deep Mixing for Embankment and Foundation Support

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 dan Perumahan Rakyat	
2.	Koordinator	Ir. Yudha Handita Pandjiriawan, M.T., M.B.A.	Direktur Bina Teknik Jalan dan Jembatan
3.	Penyusun	Fahmi Aldiamar, S.T., M.T.	Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur
4.		Ahmad Numan, S.T., M.T.	Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur
5.	Editor Naskah	Subdirektorat Teknologi dan Peralatan Infrastruktur Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan	