

PROPOSAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT



PEMBAHASAN PROGRES KEGIATAN LITBANG TEKNOLOGI TERAPAN DAN PENERAPAN TERBATAS

oleh:

ABINHOT SIHOTANG, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
BANDUNG
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul : Pembahasan Progres Kegiatan Litbang Teknologi Terapan dan Penerapan Terbatas
2. Pelaksana : Abinhot Sihotang, S.T., M.T.

NIP : 119970301
Pangkat/Golongan : Lektor Kepala/IV A
Jurusan : Teknik Sipil
Bidang Keahlian : Struktur
3. Bentuk Kegiatan : *Analisis*
4. Waktu Kegiatan : *16-18 September 2019*
5. Sumber Dana : Pusat Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
6. Jumlah Dana : Rp. 1.500.000

Bandung, *5 September 2019*

Pelaksana



(Abinhot Sihotang, S.T., M.T.)

Ketua Jurusan Teknik Sipil



(Dr. tech. Indra Noer Hamdan, ST., MT.)

Mengetahui

Kepala LP2M Itenas



(Dr. Tarsisius Kristyadi, ST., MT.)

Pembahasan Progres Kegiatan Litbang Teknologi Terapan dan Penerapan Terbatas

Latar Belakang

Puslitbang Jalan dan Jembatan adalah lembaga di bawah Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian PUPR yang mempunyai tugas pokok untuk melakukan penelitian dan pengembangan teknologi di bidang Jalan dan Jembatan. Tugas pokok tersebut meliputi penelitian terapan untuk pengembangan teknologi baru, penerapan terbatas teknologi baru sebagai bagian dari proses penelitian dan pengembangan, dan pendampingan teknis penerapan teknologi sebagai bagian dari proses alih teknologi.

Kegiatan-kegiatan penelitian dan pengembangan diselenggarakan oleh Balai-balai yang ada di Puslitbang Jalan dan Jembatan, yaitu Balai Struktur dan Jembatan, Balai Lalu Lintas, Balai Perkerasan, dan Balai Geoteknik. Monitoring dan evaluasi pelaksanaan kegiatan penelitian dan pengembangan yang diselenggarakan oleh Balai-balai tersebut dilakukan oleh suatu Tim Teknis yang dibentuk oleh Kepala Puslitbang Jalan dan Jembatan. Tim Teknis ini terdiri dari pakar dari berbagai unsur, salah satunya unsur Perguruan Tinggi. Untuk unsur Perguruan Tinggi, Puslitbang Jalan dan Jembatan mengundang Tenaga Ahli dari Prodi Teknik Sipil Itenas.

Tujuan

Tujuan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini adalah untuk memberikan kesempatan kepada Dosen Teknik Sipil Itenas untuk berkontribusi dalam pembangunan khususnya melalui perannya sebagai Tenaga Ahli dalam monitoring dan evaluasi pelaksanaan kegiatan penelitian dan pengembangan Teknologi Terapan dan Penerapan Teknologi yang dilakukan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan.

Mekanisme Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini dilaksanakan dalam bentuk Workshop Pembahasan Progres Litbang Teknologi Terapan dan Penerapan Teknologi, yang dilakukan selama 8 (delapan) hari bertempat di Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kementerian PUPR, Bandung.

Luaran Yang Dicapai

Hasil kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini berupa Laporan Monev dan Rekomendasi Penyelenggaraan Litbang Teknologi Terapan dan Penerapan Teknologi yang akan disampaikan kepada Kepala Puslitbang Jalan dan Jembatan untuk ditindaklanjuti.

LAPORAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT



PEMBAHASAN PROGRES KEGIATAN LITBANG TEKNOLOGI TERAPAN DAN PENERAPAN TERBATAS

oleh:

ABINHOT SIHOTANG, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
BANDUNG
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul : Pembahasan Progres Kegiatan Litbang Teknologi Terapan dan Penerapan Terbatas
2. Pelaksana : Abinhot Sihotang, S.T., M.T.
- NIP : 119970301
- Pangkat/Golongan : Lektor Kepala/IV A
- Jurusan : Teknik Sipil
- Bidang Keahlian : Struktur
3. Bentuk Kegiatan : Analisis
4. Waktu Kegiatan : 16 - 18 September 2019
5. Sumber Dana : Pusat Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
6. Jumlah Dana : Rp. 1.500.000

Bandung, 26 September 2019

Pelaksana



(Abinhot Sihotang, S.T., M.T.)

Ketua Jurusan Teknik Sipil



(Dr. tech. Indra Noer Hamdan, ST., MT.)

Mengetahui

Kepala LP2M Itenas



(Dr. Tarsisius Kristyadi, ST., MT.)



SURAT TUGAS
No. 686/J.16.01/LP2M/IX/2019

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Dr. Tarsisius Kristyadi, S.T., M.T.
Jabatan : Kepala
Unit Kerja : LP2M-ITENAS
Jl. PHH Mustafa No. 23 Bandung

Menerangkan bahwa :

Nama	NPP	Jabatan
Abinhot Sihotang, S.T., M.T.	970301	Dosen

Ditugaskan untuk melakukan,

Kegiatan : Pembahasan Progress Kegiatan Litbang Teknologi Terapan dan Penerapan Terbatas
Sebagai : Narasumber
Tempat : Balai Penelitian dan Pengembangan Geoteknik Jalan
Ruang Rapat Mortar Busa, Gedung Soedarmanto
Hari/Tanggal : Senin-Rabu/16-18 September 2019

Demikian surat tugas ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 13 September 2019

Lembaga Penelitian dan Pengabdian
kepada Masyarakat (LP2M) Itenas
Kepala,

Dr. Tarsisius Kristyadi, S.T., M.T.
NPP. 960604

Tembusan Yth :

1. Dekan FTSP
2. Kajur Teknik Sipil
3. Kepala Kepegawaian



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN

Jalan A. H. Nasution 264 Bandung 40294 Kotak Pos 2 Ujung Berung Telp. (022) 7802251 Fax. (022) 7802726 E-mail: info@pusjatan.pa.go.id

Bandung, 26 Agustus 2019

No. : UM.01.02-Lj/303
Sifat :
Lampiran : 2 (dua)
Perihal : Undangan Rapat Pembahasan Progress Kegiatan Litbang Teknologi
Terapan dan Penerapan Terbatas TA 2019

Kepada Yth.

Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Itenas

Di

Tempat

Dengan hormat,

Dalam rangka penyelenggaraan teknis kegiatan Tahun Anggaran 2019, kami memohon bantuan dosen Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Itenas, yaitu :

Dr. Ir. Imam Aschuri, MT

Abinhot Sihotang, ST, MT

Untuk menjadi **Narasumber** dalam **Pembahasan Progres Kegiatan Litbang Teknologi Terapan dan Penerapan Terbatas**, yang akan diselenggarakan pada :

Hari/Tanggal : **Senin – Rabu / 16 – 18 September 2019**
Waktu : **09.00 – selesai** (jadwal terlampir)
Tempat : Ruang Rapat Mortar Busa, Gd. Soedarmanto
Balai Penelitian dan Pengembangan Geoteknik Jalan

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerja samanya diucapkan terima kasih.

a.n Kepala
Kendaraan dan Penelitian dan Pengembangan
Geoteknik Jalan



Farhan Aldiamar, MT.
NIP. 19790330 200502 1001



DSIP/F-PO-03-01-05-01

**JADWAL PELAKSANAAN PEMBAHASAN PROGRESS KEGIATAN LITBANG
TEKNOLOGI TERAPAN DAN PENERAPAN TERBATAS TA 2019**

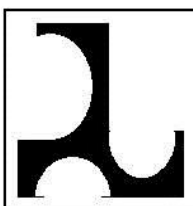
HARI, TANGGAL	WAKTU	JUDUL	KETUA SUB PAKET KERJA	NARASUMBER
Senin 16 September 2019	09.00 – 10.30	Teknologi Stabilisasi Dalam untuk Tanah Gambut	Ahmad Numan, MT.	1. Ir. GJW Fernandez 2. Dr. Ir. Imam Aschuri, MT. 3. Abinhot Sihotang, ST., MT. 4. Dr. Hindra Mulya 5. Dr. Ir. M. Eddie Soenaryo, M.Sc. 6. Rakhman Taufik, ST., M.Sc.
	10.30 – 12.00	Teknologi Prefabricated Vertical Drain (PVD) Menggunakan Material Lokal	I Putu Dwiasta, ST.	
	12.00 – 13.00	<i>ISHOMA</i>		
	13.00 – 14.30	Teknologi Penanganan Longsoran Lereng Jalan pada Material Serpih Clay Shale dengan Mortar Busa	Asep Hilman, R., ST.	
Selasa, 17 September 2019	09.00 – 10.30	Penyusunan Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Beton Semprot, Dinding Penghalang dan Daerah Tangkapan Batuan	Cahya A. Gumilar, M.Sc.	1. Ir. GJW Fernandez 2. Dr. Ir. Imam Aschuri, MT. 3. Abinhot Sihotang, ST., MT. 4. Dr. Hindra Mulya 5. Dr. Ir. M. Eddie Soenaryo, M.Sc. 6. Rakhman Taufik, ST., M.Sc.
	10.30 – 12.00	Penyusunan Pedoman Pengujian Pembebanan Statis Fondasi Dalam, Uji Integritas Tiang dan Uji Pembebanan Lateral	Suantoro Wicaksono, ST., M.Eng.	
	12.00 – 13.00	<i>ISHOMA</i>		

HARI, TANGGAL	WAKTU	JUDUL	KETUA SUB PAKET KERJA	NARASUMBER
	13.00 – 14.30	Teknologi Mortar Busa Tanpa Pasir	Riyadhi Salim, MT.	
Rabu, 18 September 2019	09.00 – 10.30	Pemetaan Penyebaran Karakteristik Tanah Ekspansif di Indonesia	Diah Affandi, MT.	1. Ir. GJW Fernandez 2. Dr. Ir. Imam Aschuri, MT. 3. Abinhot Sihotang, ST., MT. 4. Dr. Hindra Mulya
	10.30 – 12.00	Updating Peta Gempa dan Aplikasi LINI untuk Jembatan Konvensional	Desyanti, MT.	5. Dr. Ir. M. Eddie Soenaryo, M.Sc. 6. Rakhman Taufik, ST., M.Sc.

DRAFT PEDOMAN

Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil

Perancangan dan pelaksanaan beton semprot



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN
PERUMAHAN RAKYAT**

Daftar isi

Perancangan dan pelaksanaan beton semprot	i
Daftar isi	i
Prakata	iii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	2
4 Ketentuan	4
4.1 Umum	4
4.2 Kriteria perancangan	5
4.2.1 Kondisi lereng	5
4.2.2 Penentuan tebal beton semprot	8
4.2.3 Metode beton semprot	8
4.2.4 Bahan beton semprot	8
4.2.5 Persyaratan komposisi beton semprot	10
4.2.6 Persyaratan sambungan	10
4.2.7 Perencanaan drainase pada konstruksi beton semprot	10
4.2.8 Pengendalian mutu	11
4.3 Kriteria pelaksanaan	15
4.3.1 Pengajuan kesiapan kerja	15
4.3.2 Penyimpanan dan perlindungan bahan	15
4.3.3 Persiapan, pengaman dan keselamatan kerja	16
4.3.4 Peralatan	16
4.3.5 Persyaratan petugas pelaksana	22
4.3.6 Pencampuran dan penakaran	23
4.3.7 Persyaratan penyemprotan	25
4.3.8 Persyaratan perawatan	27
5 Prosedur perancangan beton semprot	29
5.1 Karakterisasi kondisi lereng	31
5.2 Pemilihan beton semprot	31
5.3 Penentuan tebal beton semprot	31
5.4 Pemilihan metode pencampuran beton semprot	31
5.5 Pembuatan rancangan campuran rencana beton semprot	31
5.6 Pembuatan rancangan campuran kerja beton semprot	31
6 Prosedur pelaksanaan beton semprot	32
6.6 Penyemprotan	34
6.7 Pengendalian mutu	35
6.8 Pengecekan visual	35
Lampiran A	36
Bibliografi	40

Gambar 1 Penentuan nilai JCS dari <i>schmidt rebound hammer</i> dan densitas batuan (Sumber : Deere dan Miller, 1966).....	6
Gambar 2 Grafik hubungan RQD dengan Frekuensi (Sumber : Hudson dan Harrison, 1997) ..	7
Gambar 3 - Drainase permukaan untuk lereng batuan	11
Gambar 4 - Panel pengujian (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner, 1975)	12
Gambar 5 - Gudang penyimpanan semen.....	16
Gambar 6 - Alat pencampuran kering jenis <i>single chamber</i> (Sumber : ACI, 1995).....	17
Gambar 7 - Alat pencampuran kering jenis <i>double chamber</i> (Sumber : ACI, 1995)	17
Gambar 8 - Alat pencampuran kering jenis <i>continous feed</i> (Sumber : Mahar, Parker, and Wuellner, 1975)	18
Gambar 9 - Skema kerja alat pencampuran kering (Sumber : ACI, 1995)	18
Gambar 10 - Alat pencampuran basah jenis <i>pneumatic-feed</i> (Sumber : ACI, 1995)	19
Gambar 11 - Alat pencampuran basah jenis <i>positive displacement</i> (Sumber : ACI, 1995) ..	19
Gambar 12 - Skema kerja pencampuran basah dengan menggunakan alat <i>pneumatic-feed</i> (Sumber : ACI, 1995)	20
Gambar 13 - Skema kerja pencampuran basah dengan menggunakan alat <i>positive displacement</i> (Sumber : ACI, 1995).....	20
Gambar 14 – Tipikal <i>Nozzle</i> pencampuran basah (The Australian Shotcrete Society, 2010).....	21
Gambar 15 – Posisi penyemprot ketika melakukan penyemprotan (ACI, 1995)	25
Gambar 16 - Gerakan penyemprotan (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner 1975).....	26
Gambar 17 - Arah penyemprot (<i>nozzle</i>) ketika melakukan penyemprotan sudut bidang (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner 1975).....	26
Gambar 18 - Metode penyemprotan beton semprot pada tulangan baja (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner 1975)	28
Gambar 19 - Penggunaan alat tekanan udara tambahan (<i>blowpipe</i>) (Sumber : Ryan, 1973).....	29
Gambar 20 – Prosedur perancangan beton semprot	30
Gambar 21 - Prosedur pelaksanaan beton semprot	33
 Tabel 1 - Parameter klasifikasi dan nilai pembobotannya	5
Tabel 2 – Aplikasi beton semprot dan kebutuhan wire mesh berdasarkan RMR	8
Tabel 3 - Gradasi agregat untuk beton semprot	8
Tabel 4 – Komposisi beton semprot.....	10
Tabel 5 Tekanan udara yang dibutuhkan untuk beton semprot campuran kering.....	21

Prakata

Pedoman perancangan teknis dan pelaksanaan beton semprot untuk pelindung lereng ini merupakan acuan untuk para praktisi dalam perancangan dan pelaksanaan beton semprot untuk pelindung lereng.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subkomite Teknis 91-01-S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui Gugus Kerja Geoteknik Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2015 dan dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 18 April 2017 di Bandung oleh Subkomite Teknis, yang melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Pengembangan konstruksi beton semprot diawali pada industri pertambangan khususnya untuk tambang galian tertutup, proteksi atap dan dinding terowongan. Umumnya setelah dilakukan penggalian terowongan dengan metode peledakan akan menghasilkan permukaan yang tidak rata, sehingga potensi terjadinya jatuhnya batuan pada atap terowongan sangat besar. Konstruksi beton semprot diaplikasikan untuk mengikat sisa-sisa batuan yang kondisinya labil tersebut dan sebagai perata permukaan terowongan. Jadi secara umum jenis konstruksi beton semprot bukan elemen struktural yang berfungsi menahan beban yang masif seperti blok batuan yang berpotensi terjadi gelincir tetapi hanya berfungsi sebagai pelindung (*covering*) atau pelapisan (*lining*) permukaan baik untuk aplikasi terowongan ataupun lereng.

Beton semprot sebagai salah satu opsi penanganan lereng yang berfungsi sebagai pelindung lereng tidak memerlukan bekisting sehingga mengurangi biaya yang diperlukan, atau pun ketika lokasi tidak bisa memakai bekisting maka beton semprot cocok digunakan. Beton semprot juga dapat diaplikasikan dengan ketebalan yang berbeda sesuai dengan kebutuhan sehingga menghemat jumlah volume beton.

Pedoman ini dimaksudkan sebagai acuan perancangan dan pelaksanaan dalam melakukan perancangan beton semprot dan pelaksanaan beton semprot untuk lereng.

Perancangan dan pelaksanaan beton semprot

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan ketentuan tentang perancangan dan pelaksanaan beton semprot pada lereng yang mencakup aplikasi beton semprot sebagai pelindung lereng galian baru maupun penanganan pada lereng yang berpotensi mengalami erosi dan pelapukan yang cepat.

Beton semprot hanya dapat menangani kerusakan pada permukaan lereng saja dan perlu juga diperhatikan penyebab kerusakan pada lereng yang ditinjau. Apabila kualitas batuan pada lereng sangat lapuk berupa batuan hancur (*very poor*) dan batuan lepas (*loose rock*) beton semprot harus dikombinasikan dengan (*wire mesh*). Perancangan dan pelaksanaan beton semprot dengan tujuan struktural tidak dijelaskan dalam pedoman ini.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

SNI-03-1750-1990, *Mutu dan cara uji agregat beton*

SNI 03-2492-2002, *Metode Pengambilan Dan Pengujian Beton Inti*

SNI 03-4430-1997, *Metode pengujian kuat tekan elemen struktur beton dengan alat palu beton tipe N dan NR*

SNI 03-4433-1997, *Spesifikasi beton siap pakai*

SNI 03-2834-2000, *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*

SNI 03-6811-2002, *Spesifikasi bahan pencampur untuk beton semprot*

SNI 15-3500-2004, *Semen portland campur*

SNI 03-1974-1990, *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*

SNI 7656:2012, *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*

SNI 03-2461-2014, *Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural*

SNI ASTM C597:2012, *Metode uji kecepatan rambat gelombang melalui beton*

ACI 506.2-95, *Specification for Shotcrete*

ACI 506.4R, *Evaluation of In-Place Beton semprot*

ACI 506.3R, *Guide to Certification of Beton semprot Juru semprot*

ACI 506R, *Guide to Beton semprot*

ANSI Z89.1-2003, *Industrial Head Protection*

ANSI A10.14-1975, *Requirements for safety belts, harnesses, lanyards, lifelines and drop lines for construction and industrial use*

ASTM A36-1999. *Standard Specification for Carbon Structural Steel*

ASTM A 185, *Standard Specification for Steel Welded Wire Fabric, Plain, for Concrete Reinforcement*

ASTM A385/ A 385M, *Standard Practice for Providing High-Quality Zinc Coatings (Hot-Dip*

ASTM A 497, *Standard Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Deformed, for Concrete*

ASTM C 42, *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*

ASTM C 94, *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete*

ASTM C 171, *Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete*

ASTM C 231, *Standard test method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by Pressure Method*

ASTM A 416/A416M – 06, *Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete*

ASTM A421/A421M – 10, *Standard Specification for Uncoated Stress-Relieved Steel Wire for Prestressed Concrete*

ASTM A722 / A722M – 18, *Standard Specification for Uncoated High-Strength Steel Bar for Prestressing Concrete*

ASTM C 494, *Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*

ASTM C 597, *Standard test method for Pulse Velocity Through Concrete*

ASTM C 618, *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*

ASTM A641/A641M – 09a, *Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Carbon Steel Wire*

ASTM C 900, *Standard test method for PullOut Strength of Hardened Concrete*

ASTM C 1140, *Standard Practice for Preparing and Testing Specimen from Shotcrete Test Panels*

ASTM C 1141, *Standard Specification for Admixtures for Shotcrete*

ASTM C 1240, *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*

EM 1110-2-2005 *Engineering and Design Standard Practice For Shotcrete*

3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

3.1

akselerator

bahan tambah untuk beton yang bersifat mempercepat proses pengikatan/pengerasan beton segar.

3.2

agregat

agregat material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku pijar yang digunakan bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik

3.3

agregat halus

pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm

3.4

agregat kasar

kerikil sebagai hasil desintegrasi 'alami' batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 – 40,0 mm

3.5

agregat ringan (*aggregate lightweight*)

agregat yang memenuhi persyaratan ASTM C330M dan mempunyai berat volume (density) gumpalan (bulk) lepas sebesar 1120 kg/m³ atau kurang, ditentukan sesuai dengan ASTM C29M.

3.6

bahan tambah kimia (*chemical admixtures*)

suatu bahan selain air, agregat, dan semen hidrolik, digunakan sebagai bahan beton atau mortar dan ditambahkan ke campuran (batch) segera, sebelum atau selama pencampuran, untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton dalam keadaan plastis atau setelah mengeras

3.7

beton semprot

salah satu cara pengaplikasian beton dengan campuran tertentu yang disemprotkan dengan tekanan tinggi pada kecepatan tertentu sehingga dapat melekat dengan baik pada berbagai jenis permukaan

3.8

campuran beton semprot basah

semen, agregat dan air dicampur bersama terlebih dahulu sebelum masuk ke pompa dan melalui selang ke *Nozzle* di semprotkan secara pneumatik pada permukaan

3.9

campuran beton semprot kering

semen dan agregat dikumpulkan dalam ruang, dicampur dan dikirim ke dalam mesin khusus campuran kering, air berada pada tempat sendiri, campuran kering mendapatkan air secara bersamaan saat akan disemprotkan secara pneumatik pada permukaan melalui pipa ke *nozzle*

3.10

daktilitas

kemampuan material mengembangkan regangannya dari pertama kali leleh hingga akhirnya putus

3.11

faktor air semen

angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton

3.12

jaring kawat (*wire mesh*)

baja tulangan dengan diameter tertentu yang disusun berbentuk jala dengan jarak antar tulangan tertentu yang disambungkan dengan pengelasan atau penganyaman

3.13

material campuran tambahan (*admixture*)

material selain air, agregat, atau semen hidrolis, yang digunakan sebagai bahan penyusun beton dan ditambahkan pada beton sebelum atau selama pencampurannya untuk memodifikasi properti.

3.14***plat bearing***

pelat baja yang digunakan untuk menghubungkan antara jangkar dan permukaan batu

3.15***post-tension***

proses penarikan baja tulangan yang dilakukan sebelum penyemprotan beton

3.16***pozolan***

bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen

3.17***rangkak***

perubahan bentuk pada material padat yang diakibatkan oleh tegangan yang tinggi pada waktu yang lama

3.18***serat baja***

merupakan baja yang dibentuk ketika masih panas sehingga memiliki panjang antara 25-32.5 mm, diameter atau ketebalan antara 0.25 sampai dengan 0.5 mm dan dengan bentuk tertentu

3.19***semen portland (Ordinary Portland Cement/OPC)***

bahan pengikat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Yang dimaksud dalam juknis ini adalah semen portland tipe I

3.20***spasi diskontinuitas***

jarak antara satu bidang diskontinuitas dengan bidang diskontinuitas yang lain yang saling berdekatan dalam satu *scanline*.

3.21***stabilisasi progresif***

proses stabilisasi lereng yang langsung dilakukan ketika permukaan lereng baru hasil penggalian terbentuk, proses stabilisasi beriringan dengan proses penggalian

4 Ketentuan**4.1 Umum**

- a. Perancangan beton semprot harus berdasarkan hasil evaluasi terhadap kondisi lapangan.

- b. Penggunaan beton semprot dilakukan berdasarkan nilai *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1989) pada Tabel 2.
- c. Pekerjaan beton semprot tidak dapat dilaksanakan pada saat hujan dan kondisi kecepatan angin tinggi.
- d. Kegiatan inspeksi harus dilakukan sesuai dengan Pedoman Inspeksi Lereng Jalan dan pemeliharaan beton semprot harus lebih sesuai dengan R3 Pedoman Pemeliharaan Lereng Jalan Sebagai Penilaian Risiko.

4.2 Kriteria perancangan

4.2.1 Kondisi lereng

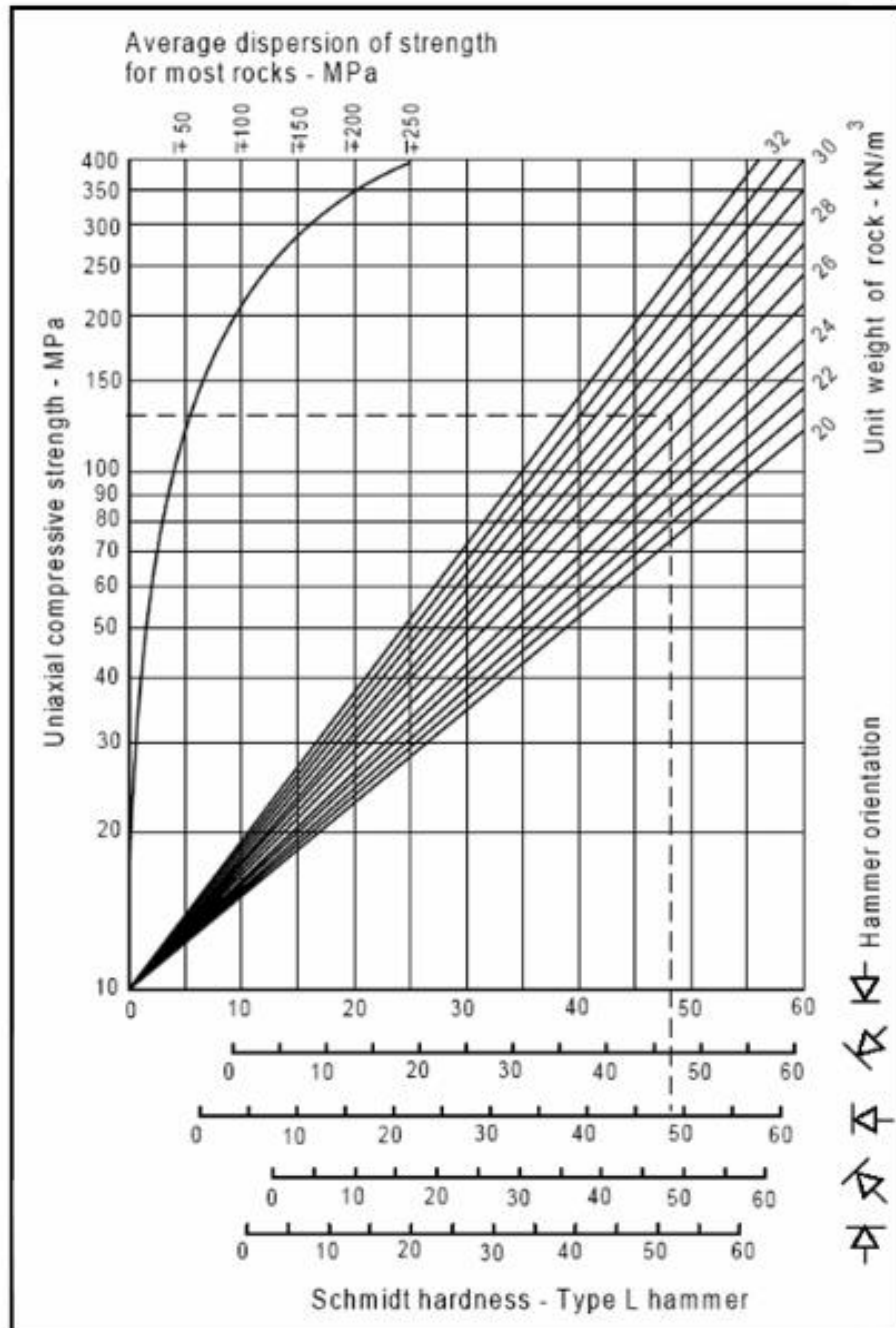
- a. Identifikasi kondisi lereng batuan di lapangan dilakukan dengan metode *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1989) dengan lima parameter utama yaitu kekuatan batuan utuh (*intact rock*), RQD (*Rock Quality Designation*), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas dan kondisi air tanah berdasarkan Tabel 1. Nilai RMR merupakan penjumlahan kekuatan batuan utuh (*intact rock*), RQD (*Rock Quality Designation*), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas dan kondisi air tanah.

Tabel 1 - Parameter klasifikasi dan nilai pembobotannya

Parameter			Jangkauan Nilai						
1	Kekuatan Batuan Utuh	Indeks kekuatan <i>Point-Load</i>	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Kekuatan rendah - tidak menggunakan <i>point load</i>		
		<i>Uniaxial Compressive</i>	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Bobot		15	12	7	4	2	1	0
2	Kualitas Inti Bor (RQD)		90%-100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Bobot		20	17	13	8	3		
3	Spasi Diskontinuitas		> 2m	0.6 - 2.0 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Bobot		20	15	10	goresgaris	0		
4	Kondisi Bidang Diskontinuitas		sangat kasar dinding segar tidak menerus rapat	kasar terbuka <1mm dinding sedikit lapuk	sedikit kasar terbuka <1mm dinding sangat lapuk	terisi, tebal<5mm terbuka 1-5mm menerus	terisi material lunak >5mm terbuka >5mm menerus		
	Bobot		30	25	20	10	0		
5	Keairan	Aliran per 10 m Panjang Terowongan	0	< 10	25-Oct	25 - 125	> 125		
		Tekanan Air (<i>Major Principal σ</i>)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Kondisi Umum	Kering	Lembab	Berair	Basah	Mengalir		
	Bobot		15	10	7	4	0		

Sumber : Bieniawski, 1989

- b. Kekuatan batuan utuh berdasarkan hasil dari kuat tekan uniaksial atau nilai *Joint Compressive Strength* (JCS) dengan plot *schmidt rebound hammer* dan densitas batuan (Deere dan Miller, 1966) pada Gambar 1.



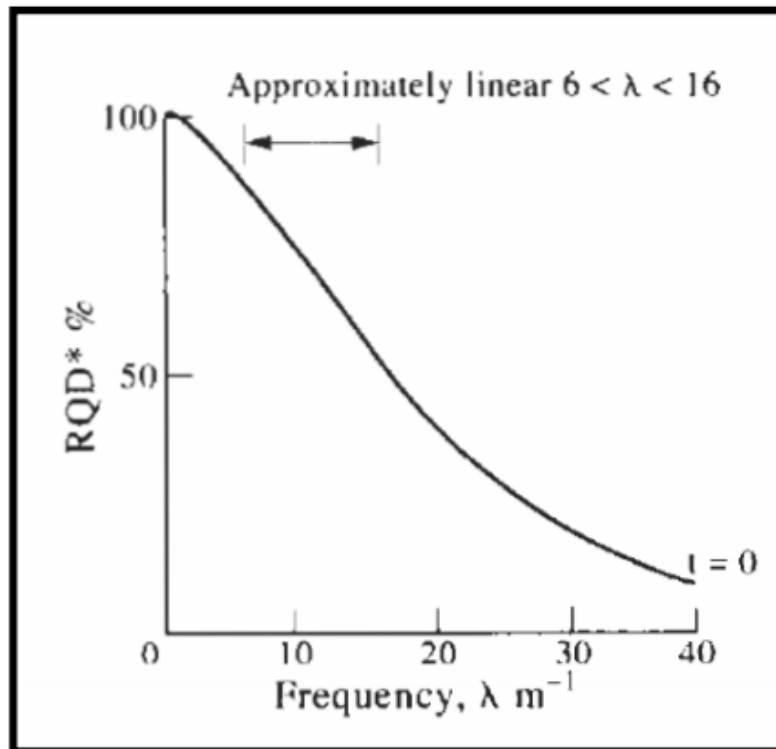
Gambar 1 Penentuan nilai JCS dari *schmidt rebound hammer* dan densitas batuan (Sumber : Deere dan Miller, 1966)

c. RQD (*Rock Quality Designation*)

1. Nilai RQD berdasarkan nilai tanpa melakukan pemboran dan pengambilan sampel inti batuan dengan penilaian empiris dengan *scanline system*. Penilaian dilakukan dengan pengamatan pada tiap-tiap lokasi *scanline* dengan mengukur spasi, jumlah dan lebar bukaan diskontinuitas.
2. Frekuensi diskontinuitas merupakan perbandingan antara jumlah diskontinuitas dalam satu scanline dengan panjang scanline dengan formula 1.

$$\text{Frekuensi } (\lambda) = \frac{\text{Jumlah diskontinuitas}}{\text{Panjang scanline}} \dots\dots\dots (1)$$

3. Nilai RQD berdasarkan hasil plot frekuensi (λ) pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan RQD dengan Frekuensi (Sumber : Hudson dan Harrison, 1997)

- e. Spasi diskontinuitas dihitung antara satu bidang diskontinuitas dengan bidang diskontinuitas yang lain yang saling berdekatan dalam satu *scanline* dengan formula 2.

$$\text{Spasi diskontinuitas rata-rata} = \frac{\text{Panjang scanline}}{\text{Jumlah diskontinuitas}} \dots\dots\dots (1)$$

- f. Kondisi diskontinuitas (*condition of discontinuities*) berdasarkan deskripsi tiap bidang diskontinuitas, berupa tingkat pelapukan, kekasaran permukaan bidang diskontinuitas, kemenerusan bidang diskontinuitas, lebar bukaan, dan material pengisi bidang diskontinuitas.
- g. Kondisi air tanah (*groundwater condition*) berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan dan penentuan kondisi umum air, dengan melakukan pengukuran debit air atau mengukur tekanan air.
- h. Persiapan kondisi lereng sebelum penyemprotan dilakukan dengan evaluasi kondisi lereng untuk mengetahui pembersihan lereng yang diperlukan tidak mengganggu kestabilan lereng.
- i. Aspek yang penting dari pembersihan lahan ini adalah pemilihan metode yang tidak mengganggu kestabilan lereng, karena setelah pembersihan tersebut dapat mengakibatkan lereng menjadi tidak stabil sehingga area tersebut menjadi tidak aman bagi lalu lintas kendaraan.

4.2.2 Penentuan tebal beton semprot

Tebal beton semprot didasarkan pada nilai RMR batuan pada Tabel 2.

Tabel 2 – Aplikasi beton semprot dan kebutuhan wire mesh berdasarkan RMR

Kelas massa batuan	Aplikasi Beton Semprot	Tebal beton semprot (mm)	Kebutuhan wire mesh
I – <i>Very good rock</i> RMR : 81 - 100	-	-	-
II – <i>Good rock</i> RMR : 61- 80	-	-	-
III – <i>Fair rock</i> RMR : 41 – 60	Menggunakan beton semprot	30	-
IV - <i>Poor rock</i> RMR : 21 – 40	Menggunakan beton semprot	100	Menggunakan wire mesh
V – <i>Very poor rock</i> RMR : < 20	Menggunakan beton semprot	150	Menggunakan Wire mesh

Sumber : Bieniawski, 1989

4.2.3 Metode beton semprot

Pemilihan metode pencampuran beton semprot basah dan kering berdasarkan ruang lingkup pekerjaan, ketersediaan bahan, ketersediaan peralatan, akses lapangan, dan kompetensi penyedia jasa.

4.2.4 Bahan beton semprot

Bahan-bahan yang digunakan untuk campuran beton semprot adalah sebagai berikut:

- a. Semen
Semen yang digunakan adalah semen portland sesuai dengan SNI 2019-2015 (ASTM C150-86).
- b. Agregat
 1. Agregat untuk beton semprot harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI-03-1750-1990 (ASTM C 33). Campuran/kombinasi agregat harus memenuhi salah satu gradasi seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 - Gradasi agregat untuk beton semprot

Ukuran Saringan, US standat	Prosentase berat yang lolos saringan		
	Gradasi No.1	Gradasi No. 2	Gradasi No. 3
¾ in. (19 mm)	-	-	100
½ in. (12 mm)	-	100	80-95
3/8 in (10 mm)	100	90-100	70-90
No. 4 (4.75 mm)	95-100	70-85	50-70
No. 8 (2.4 mm)	80-100	50-70	35-55
No. 16 (1.2 mm)	50-85	35-55	20-40
No. 30 (600 µm)	25-60	20-35	10-30

Ukuran Saringan, US standat	Prosentase berat yang lolos saringan		
	Gradasi No.1	Gradasi No. 2	Gradasi No. 3
No. 50 (300 μ m)	10-30	8-20	5-17
No. 100 (150 μ m)	2-10	2-10	2-10

Sumber : ASTM C 33

2. Gradasi No. 1 pada Tabel 3 digunakan untuk beton semprot dengan agregat halus, sedangkan Gradasi No. 2 dan No. 3 untuk beton semprot dengan agregat kasar.
 3. Perlu diperhatikan dengan penggunaan agregat halus yang lebih banyak akan menyebabkan susut kering (*drying shrinkage*) yang lebih besar.
 4. Agregat ringan (*lightweight-aggregate*) dipergunakan untuk beton semprot dengan pencampuran kering. Apabila agregat ringan digunakan untuk beton semprot mengacu pada SNI 03-2461-2014) (ASTM C 330)
- c. Air
1. Air untuk mencampur adonan beton semprot harus bersih dan bebas dari zat-zat kimia yang dapat membahayakan/ merusak beton semprot atau baja sesuai spesifikasi SNI 03-0624-1991 (ASTM C 94).
 2. Air yang digunakan untuk perawatan (*curing water*) harus bebas dari zat-zat kimia yang dapat merusak beton semprot dan menyebabkan pencemaran sesuai spesifikasi SNI 03-0624-1991 (ASTM C 94).
- d. Bahan tambah dan akselerator
1. Bahan tambah digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton semprot jangka panjang, mendapatkan permeabilitas beton semprot yang rendah, meningkatkan nilai adhesi dan kohesi beton semprot.
 2. Bahan kimia
Penggunaan campuran kimia pada beton semprot harus mengacu pada SNI 03-6811-2002.
 3. Mineral
 - a) Mineral yang dapat ditambahkan pada beton semprot berbentuk pozzolan dan silica fume.
 - b) Pozzolan yang ditambahkan pada proses pencampuran kering digunakan untuk memudahkan pengerjaan, meningkatkan pemompaan, menaikkan daya tahan terhadap zat asam tertentu dan mengurangi pengembangan mengacu pada pada SNI 03-6811-2002 (ASTM C 618).
 - c) Silica fume dapat menambah kekuatan, kerapatan, dan masa layan mengacu pada pada ASTM C 1240.
 4. Akselerator digunakan saat kekuatan beton semprot harus diperoleh dengan cepat dan atau kemiringan lereng lebih dari 45 derajat.
 5. Akselerator cair dapat ditambahkan pada proses pencampuran kering atau proses pencampuran basah.
 6. *Water-reducing and retarding admixture*, hanya dapat dilakukan pada proses pencampuran basah saja mengacu pada SNI 03-6811-2002 (ASTM C 1141).
 7. *Air Entraining Admixture* (AEA) hanya dapat dilakukan pada proses pencampuran basah saja mengacu pada SNI 03-6811-2002 (ASTM C 1141).
- e. Jaring kawat (*wire fabric-welded wire fabric*)
1. Jaring kawat harus sesuai ke ASTM A 185 atau ASTM A 497 baik dengan galvanis atau tidak.
 2. Persilangan yang dilas harus ditempatkan tidak lebih 300 mm untuk kawat polos atau 400 mm untuk kawat ulir.
 3. Kawat yang digunakan ukuran 3 mm sampai 4.5 mm dengan spasi 100 mm di kedua arah.
 4. Kawat galvanis atau jaring kawat yang dilapisi epoksi untuk mengurangi korosi harus sesuai dengan ASTM A 385 dan ASTM A 641.

4.2.5 Persyaratan komposisi beton semprot

- a. Desain dan hasil campuran beton semprot sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 4 – Komposisi beton semprot

Jenis proses beton semprot	Kuat tekan 28 hari (Mpa)	Kadar semen minimal (kg/m ³)	Rasio air semen	Batas kadar udara (%)	Slump (mm)
Kering	28	325-425	0.3 – 0.5	-	-
Basah	28	325-425	0.4 – 0.55	5 – 8	40 – 75

Sumber : ACI 506R-90

- b. Pencampuran basah
1. Proporsi campuran sesuai SNI 7656:2012 (ACI 211.1) dengan koreksi kadar agregat yang dapat dipompa dengan menggunakan mesin pompa beton semprot.
 2. Slump untuk beton semprot campuran basah antara 40 mm sampai 75 mm
 3. Kandungan udara pada campuran basah antara 5 % sampai 8 % yang di uji sesuai ASTM C 231
- c. Pencampuran kering
- Agregat harus merupakan perpaduan ukuran sesuai kebutuhan untuk menghasilkan gradasi gabungan sesuai Tabel 2.1.

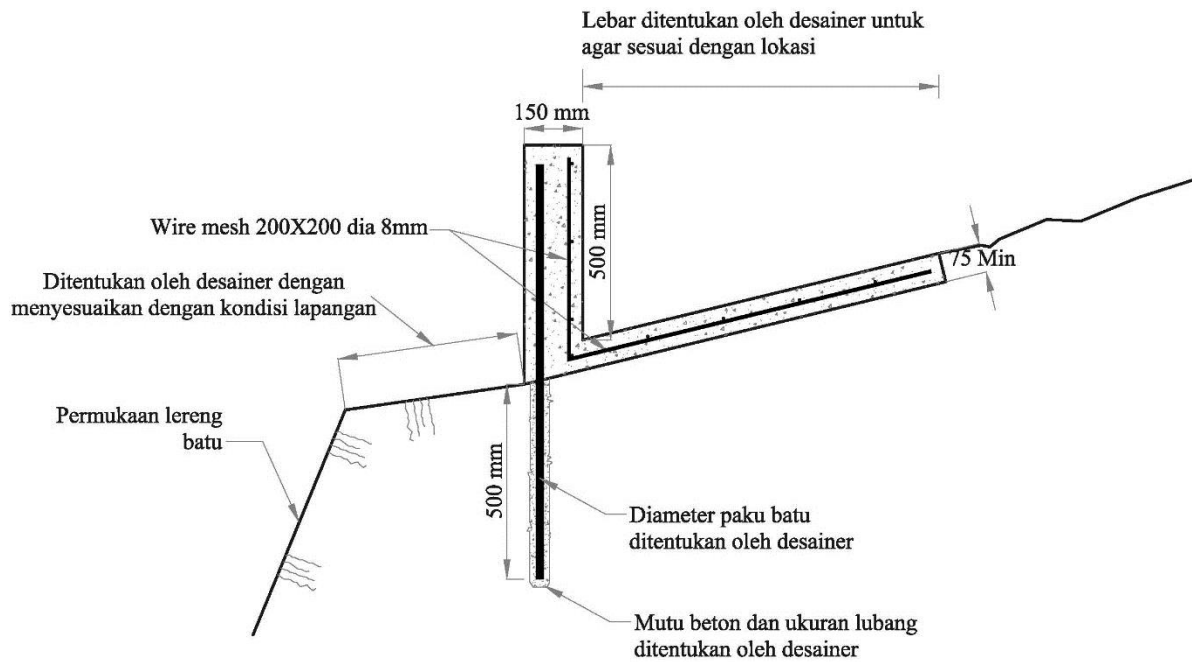
4.2.6 Persyaratan sambungan

Sambungan (*construction joints*) dilebihkan sebanyak 1,5 dari ketebalan beton semprot. Sambungan berbentuk persegi sebaiknya dihindari pada pekerjaan beton semprot karena dapat menyebabkan *rebound* dan *overspray*.

4.2.7 Perencanaan drainase pada kontruksi beton semprot

4.2.7.1 Drainase permukaan

- a. Sistem drainase permukaan pada penanganan lereng batuan dibutuhkan dengan kondisi sebagai berikut:
1. apabila pada bagian atas lereng terdapat retakan (*tension crack*) tempat masuknya air dan adanya *run off* air dalam jumlah signifikan yang mengarah ke lereng.
 2. Apabila air dapat mencapai retakan dapat mengakibatkan peningkatan tegangan air pori pada retakan lereng batuan, dapat memicu longsoran, dan dapat mempercepat degradasi material yang lemah.
- b. Bentuk drainase permukaan untuk lereng batu untuk meminimalkan proses penggalan pada Gambar 3.
- c. Penentuan dimensi saluran sesuai pedoman perencanaan saluran drainase jalan.



Gambar 3 - Drainase permukaan untuk lereng batuan

4.2.7.2 Drainase bawah permukaan

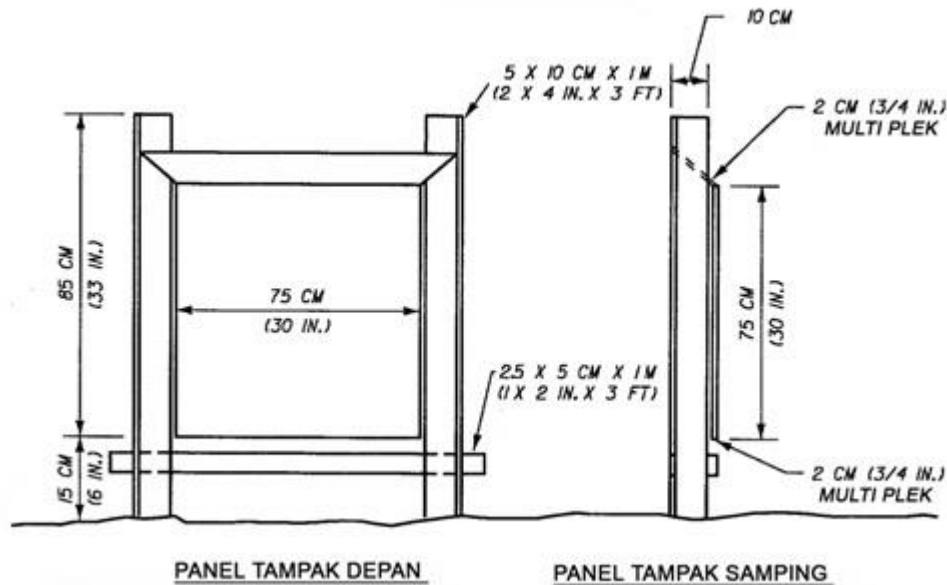
- Apabila tekanan air masih tinggi walaupun sudah ada saluran drainase permukaan diperlukan drainase bawah permukaan berupa suling-suling, drainase horisontal, *strip drain*, atau *geocomposite drainage board*.
- Untuk mengetahui saluran bawah permukaan efektif dan berfungsi sepanjang umur lereng, dapat dilakukan pengawasan tekanan air tanah dengan pizometer sebelum dan setelah penanganan dengan beton semprot.
- Sistem drainase yang digunakan pada batuan lunak, sangat retak atau berlapis-lapis dimana ketidakstabilan dapat terjadi di sepanjang bidang potensial longsor, drainase dipasang pada lubang batuan tanpa cangkang yang dibor dengan mesin bor *track* atau mesin bor portabel.
- Pada batuan lunak atau batuan sangat retak, lubang drainase diisi dengan pipa PVC untuk menjaga bukaan saluran. Drainase dipasang pada dasar lereng, dan membutuhkan perawatan periodik untuk mencegah penyumbatan yang dipadukan dengan sistem stabilisasi yang lain.

4.2.8 Pengendalian mutu

4.2.8.1 Sebelum konstruksi

- Pengujian dan evaluasi sebelum konstruksi harus dilakukan untuk memastikan kelayakan material, perbandingan campuran, peralatan, petugas lapangan dan proses pengerjaan beton semprot.
- Percobaan campuran rencana

1. Komposisi campuran yang belum pernah digunakan sebelumnya harus disertai data-data berupa sifat-sifat material, komposisi campuran, hasil pengujian dan kinerja dari komposisi campuran tersebut.
2. Pekerjaan percobaan pencampuran seluruhnya dikerjakan dengan menggunakan alat, material, proporsi campuran dan prosedur yang sama seperti yang akan dilakukan dalam pekerjaan.
3. Pengujian panel
 - a) Dilakukan sebelum aplikasi beton semprot dilakukan sesuai ASTM C 1140 dengan ukuran panel minimum 75 x 75 cm tebal 10 cm seperti pada Gambar 12.



Gambar 4 - Panel pengujian (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner, 1975)

- b) Panel-panel uji harus tersedia untuk masing-masing juru semprot untuk berbagai kondisi misalkan permukaan vertikal atau pada sambungan disesuaikan dengan kondisi lapangan. Ketebalan beton semprot pada panel sama dengan ketebalan beton semprot yang direncanakan di lapangan.
- c) Masing-masing juru semprot harus melakukan penyemprotan pada panel uji prakontruksi untuk masing-masing proporsi campuran yang diusulkan dan setiap posisi penyemprotan.
- d) Setengah bagian panel uji harus diberi tulangan dengan ukuran dan jarak sesuai gambar dan setengah bagian lainnya dibiarkan tanpa tulangan.
- e) Segera setelah penyemprotan campuran, panel uji pra kontruksi harus dijaga kelembaban dengan cara menutup atau membungkusnya dengan lembaran material yang memenuhi ASTM C 171 sampai di bawa ke lab pengujian atau dilakukan pengujian contoh uji.
- f) Panel uji tidak boleh direndam dalam air dan tidak boleh terganggu selama 24 jam pertama setelah penyemprotan campuran.
- g) Pengujian panel harus jadwalkan jauh-jauh hari agar dapat dilakukan evaluasi sebelum pekerjaan dilapangan dimulai.
3. Pengambilan benda uji
 - a) Pengambilan benda uji dilakukan terhadap panel yang bertulang sebanyak tiga buah benda uji dan tidak bertulang sebanyak tiga benda uji sesuai SNI 03-2492-2002 (ASTM C 42) setelah 14 hari dari uji panel.

- b) Batas pengambilan contoh benda uji pada panel uji ± 10 cm dari batas luar. Silinder (hasil *coring*) minimal harus memiliki diameter minimal 10 cm dan memiliki rasio tinggi diameter jika dimungkinkan 1 untuk uji kekuatan tekan beton semprot.
- 4. Pengujian
 - a) Pengujian kuat tekan pada benda uji yang tidak bertulang sesuai SNI 03-2492-2002 (ASTM C 42) pada umur 28 hari.
 - b) Pada benda uji yang bertulang dilakukan pengamatan *core grade* sesuai spesifikasi beton semprot ACI 506.2-95.
 - c) Pengujian lainnya seperti absorsi, susut dan lain-lain dapat juga dilakukan sesuai kondisi khusus lapangan bila menggunakan polimer.
 - d) Hasil pengujian terhadap semen, agregat, admixture dan lainnya harus terus dilaporkan secara periodik sesuai dengan persyaratan untuk mengetahui apabila terjadi perubahan pada kualitas dari material tersebut.
- 5. *Desain mix* dan juru semprot yang diterima
 - a) Material semen harus disertai sertifikasi dari pabrik sesuai persyaratan yang ada.
 - b) Data hasil pengujian agregat harus memenuhi kualitas dan gradasi yang telah ditentukan.
 - c) *Admixture* dan *curing compound* harus disertai sertifikat dari pabrik dan sesuai dengan persyaratan.
 - d) Serat dan perkuatan lainnya harus disertai sertifikat pabrik dan sesuai dengan persyaratan.
 - e) Data hasil pengujian akselerator dan semen harus memenuhi persyaratan untuk *initial* dan *final set time*.
 - f) Desain campuran yang diterima berdasarkan hasil uji coba pra konstruksi dan hasil uji.
 - g) Juru semprot yang bisa menghasilkan *core grade* minimum atau rata-rata 2,5 yang diijinkan melakukan penyemprotan pada saat konstruksi sesuai ACI 506.2-95.
- d. Komposisi campuran sebelumnya yang pernah digunakan (*historical data*)
 - 1. Material dan komposisi campuran pada pekerjaan beton semprot terdahulu dapat dijadikan acuan dalam penentuan komposisi campuran.
 - 2. Dokumentasi data yang ada meliputi data material, perbandingan campuran, kondisi lapangan dan hasil tes.

4.2.8.2 Pengujian konstruksi

- a. Peralatan beton semprot dan skema perencanaan produksi, pengangkutan dan penyimpanan material beton semprot harus sudah sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.
- b. Uji panel
 - 1. Uji panel dilakukan setiap dilakukan pencampuran dan setiap hari atau setiap maksimum 40 m³ disemprotkan.
 - 2. Panel uji harus tetap lembab pada suhu 21 C \pm 10 C sampai ke laboratorium.
 - 3. Pengujian panel uji sesuai dengan ASTM C 1140.
 - 4. Persiapan permukaan yang akan disemprot dilakukan pada setiap pergantian shift pekerja. Tidak diperbolehkan melakukan penyemprotan sebelum dipastikan pekerjaan persiapan permukaan telah selesai
 - 5. Pemeraman panel uji harus dilakukan lapangan sesuai dengan persyaratan yang ada sampai mencapai kekuatan tertentu hingga dipindahkan ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Pemeliharaan dilanjutkan di laboratorium sampai benda uji dibuat. Persiapan benda uji berupa silinder atau balok harus dari panel uji sesuai dengan SNI 03-2492-2002. Benda uji berbentuk silinder digunakan untuk pengujian

kuat tekan beton semprot tanpa perkuat serat dan benda uji balok digunakan untuk pengujian kuat lentur pada beton semprot dengan perkuatan serat.

- c. Pengambilan beton inti
 1. Pengambilan beton inti paling sedikit satu benda uji setiap 50 m² atau sembilan benda uji setiap 500 m² dengan diameter beton inti sebesar 75 mm sesuai SNI 03-2492-2002 (ASTM C 42).
- d. Pengujian
 1. Pengujian benda uji beton semprot dicampur ditempat sesuai dengan SNI 03-2492-2002 (ASTM C 42).
 2. *Grade core* pada benton semprot dengan *reinforcement* sesuai dengan ACI 506.2-5.
 3. Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari sesuai SNI 03-2492-2002 (ASTM C 42). Kuat tekan rata-rata satu set pengujian pada tiga contoh inti harus sama atau melebihi 0,85 fc' dan untuk setiap contoh kurang dari 0,75 fc'. Rata-rata satu set tiga kubus harus sama atau melebihi fc' tanpa kubus individual kurang dari 0,88 fc'.
 4. Keseragaman dan kualitas dari beton semprot di lapangan diuji dengan metode yang tidak merusak seperti *impact hammer* atau *probe* (SNI 03-4430-1997), *ultrasonic* (SNI ASTM C 597:2012) dan *pull out* (ASTM C 900). Penggunaan alat ini digunakan untuk identifikasi kualitas pada area yang dicurigai yang merupakan kekuatan relatif dan bukan untuk penentuan kekuatan aktual.
 5. Pengujian pantulan (*rebound testing*) dilakukan secara periodik untuk mengetahui jumlah material yang memantul dari bidang yang disemprot. Pengujian ini dilakukan pada permukaan yang telah disemprot, material pantulan dikumpulkan setelah proses penyemprotan selesai. Persentasi material pantulan dihitung dengan membandingkan volume material yang disemprotkan dan material *rebound* yang dikumpulkan. Pengujian diterima jika volume kering maksimum 25 % dan basah maksimum 10%.
 6. Pengecekan visual pada beton semprot dilakukan untuk mengetahui keseragaman permukaan, rongga pada permukaan beton semprot, perbedaan kehalusan permukaan beton semprot, rembesan dan bagian yang rusak.
 7. Pengujian *residual energy absorption* test ASTM C 1550.
- e. Komposisi campuran harus dicek secara berkala untuk mengetahui apakah komposisi masih sesuai dengan yang disyaratkan. Pengecekan komposisi campuran dilakukan dengan cara mengontrol berat semen dan air.
- f. Pada proses pencampuran basah beton, kadar udara didalamnya lebih besar dari beton konvensional. Hampir 50% kadar udara pada beton semprot hilang saat pengangkutan dan penyemprotan. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C 231.
- g. Penanda ketebalan (*gauge wire* atau *studs*) harus sudah terpasang sebelum penyemprotan. Alat penanda ini dipasang dengan cara menusukannya pada beton semprot yang masih basah. Jika alat penanda ini masih ada bagian yang masih tipis, ketebalan beton semprot belum memenuhi yang disyaratkan harus segera dilakukan penambahan.

4.2.8.3 Penerimaan

- a. Pekerjaan beton semprot diterima jika memenuhi persyaratan.
- b. Pekerjaan beton semprot diterima jika sebelumnya gagal memenuhi satu atau lebih dari persyaratan, tetapi telah diperbaiki dan sesuai dengan persyaratan.
- c. Pekerjaan beton semprot tidak diterima jika gagal memenuhi satu atau lebih dari persyaratan. Modifikasi bisa diperlukan untuk pekerjaan yang tersisa namun harus sesuai dengan persyaratan.

4.3 Kriteria pelaksanaan

4.3.1 Pengajuan kesiapan kerja

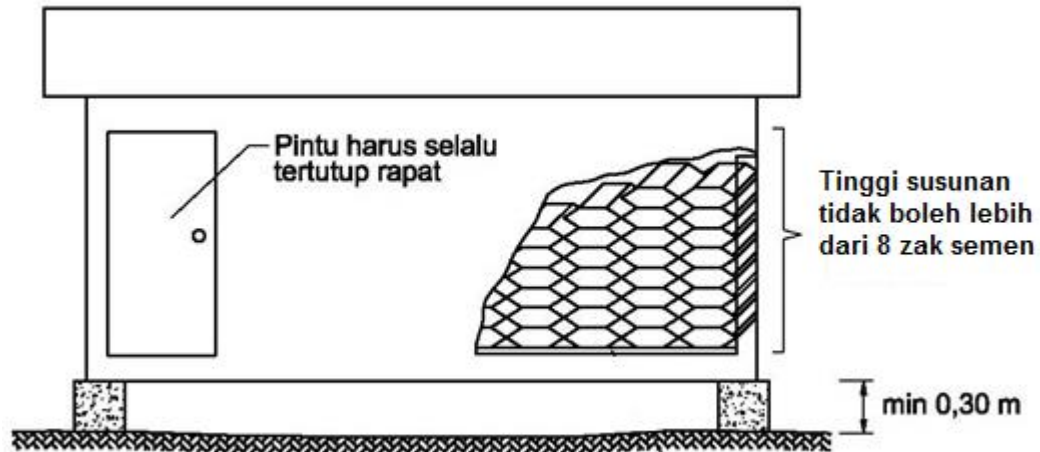
- a. Beton semprot disemprot setelah lereng batuan disiapkan sesuai dengan gambar perancangan.
- b. Semua bahan yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi bahan dan/atau gambar perancangan dan dilengkapi dengan data pengujian bahan dari laboratorium;
- c. Rancangan campuran beton semprot yang akan digunakan telah dipersiapkan 30 hari sebelum pekerjaan penyemprotan dimulai;
- d. Pengujian kuat tekan beton semprot dilaksanakan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari setelah tanggal pencampuran, sesuai SNI 1974:2011;
- e. Seluruh perancah yang akan digunakan disertai gambar detail dan perhitungan struktur sebelum pekerjaan perancah dimulai;
- f. Rencana pelaksanaan pencampuran atau penyemprotan setiap jenis beton semprot telah dipersiapkan minimal 24 jam sebelum tanggal pelaksanaan penyemprotan, termasuk metode penyemprotan, kapasitas peralatan yang digunakan, tanggung jawab personil dan jadwal pelaksanaannya.
- g. Pengaturan lalu lintas dilakukan sampai pelaksanaan beton semprot selesai dilakukan, peralatan untuk mendukung beton semprot harus dikondisikan agar aman dari kemungkinan gangguan lalu lintas.

4.3.2 Penyimpanan dan perlindungan bahan

- a. Agregat
 1. Tempat penyimpanan agregat agar terlindung dan tidak langsung terkena sinar matahari dan hujan sepanjang waktu penyemprotan.
 2. Penyimpanan agregat harus dilakukan sedemikian rupa sehingga jenis agregat atau ukuran yang berbeda tidak tercampur.
 3. Bahan harus disimpan sedemikian hingga dapat mencegah terjadinya segregasi dan menjamin gradasi yang sebagaimana mestinya, serta tidak terdapat kadar air yang berlebihan. Tinggi maksimum dari penumpukan bahan harus dibatasi sampai maksimum 5 meter.
- b. Air

Air harus disimpan dan ditampung dalam tangki air yang tertutup untuk mencegah terkontaminasi karena cuaca dan lain-lain.
- c. Semen
 1. Semen di simpan di ruangan yang kering dan tertutup rapat
 2. Semen ditumpuk dengan jarak minimum setinggi 30 cm dari lantai ruangan, tidak menempel/melekat pada dinding ruangan dan maksimum setinggi 8 zak semen seperti pada Gambar 5.
 3. Tumpukan zak semen disusun seperti pada gambar dengan menghindari sirkulasi udara dan mudah untuk diperiksa
 4. Semen dari berbagai jenis merek harus disimpan secara terpisah sehingga tidak mungkin tertukar dengan jenis merek lain.
 5. Semen yang baru datang tidak langsung digunakan tapi penggunaannya harus dilakukan menurut urutan pengirimannya.
 6. Apabila mutu semen diragukan atau telah disimpan lebih dari 2 bulan maka sebelum digunakan harus diperiksa terlebih dahulu bahwa semen tersebut memenuhi syarat.
 7. Pada penggunaan semen curah, suhu semen harus kurang dari 70 °C.

8. Semen produksi pabrik dalam kemasan yang telah diketahui beratnya tidak perlu ditimbang ulang dan semua semen curah harus diukur dalam berat.
9. Semen untuk di silo pada *batching plant*



Gambar 5 - Gudang penyimpanan semen

d. Bahan tambah

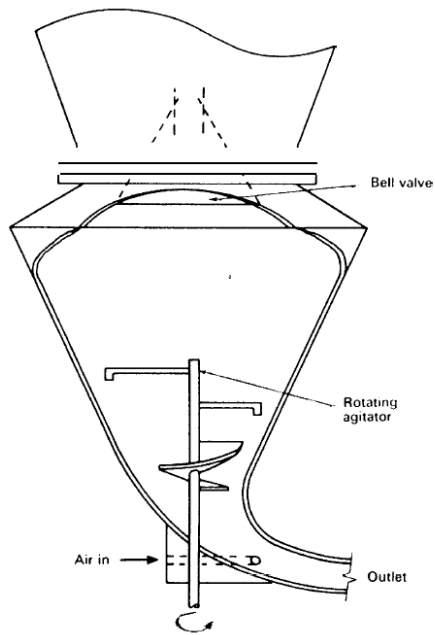
Bahan tambah harus disimpan dalam tempatnya dan selalu dalam keadaan tertutup agar tidak terjadi pengurangan mutu.

4.3.3 Persiapan, pengaman dan keselamatan kerja

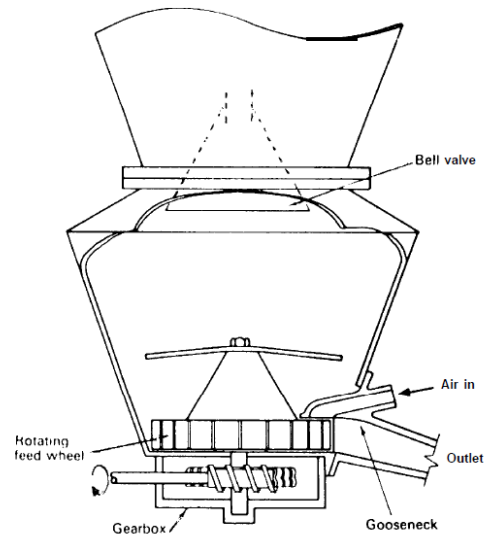
- a. Permukaan batuan yang akan disemprot, harus dibersihkan, bebas dari material yang akan mempengaruhi daya lekat beton semprot seperti material halus, lumpur, tanaman, pohon dll.
- b. Perkuatan misalkan jaring kawat (*wire mess*) harus sudah terpasang dengan baik sebelum proses penyemprotan material beton semprot dimulai.
- c. Alat pelindung tubuh dan keselamatan telah dipasang.

4.3.4 Peralatan

- a. Pekerjaan beton semprot harus menggunakan peralatan mekanik yang lengkap, antara lain alat pencampur, kompresor, pompa, selang dan *nozzle*.
- b. Peralatan pencampuran beton semprot
 1. Peralatan pencampuran kering yaitu mesin dengan *single chamber guns* pada Gambar 6 atau *double chamber guns* pada Gambar 7, atau *continuous-feed machines (rotary machines)* Gambar 8.

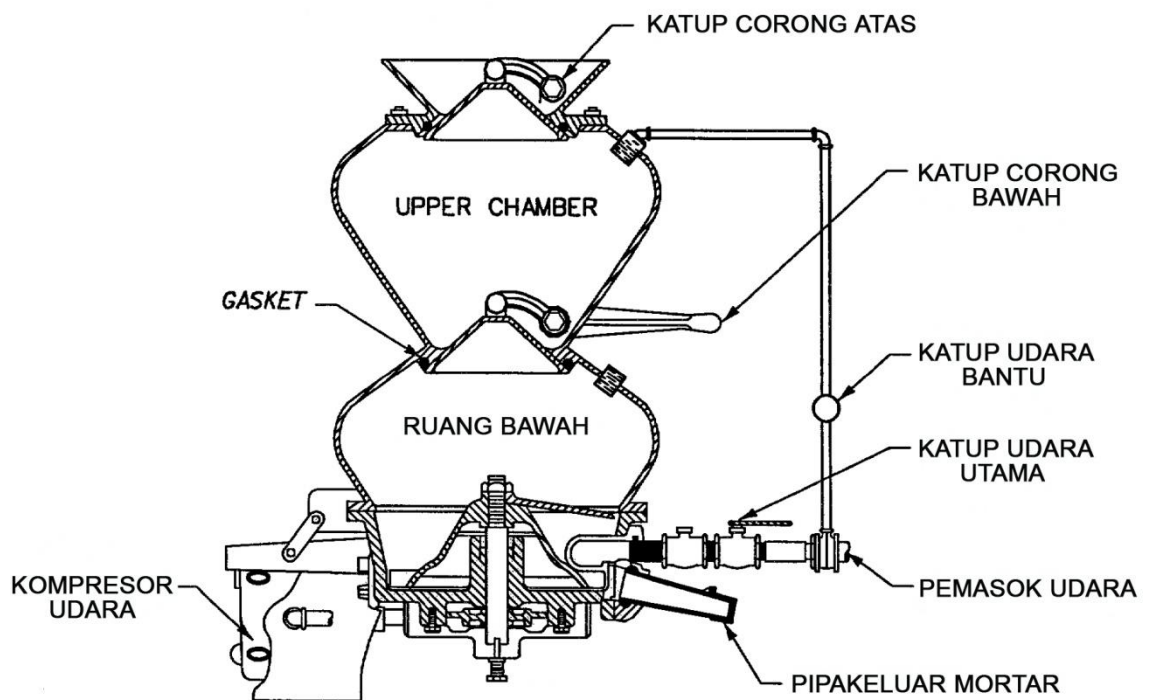


(a) Tanpa feed wheel

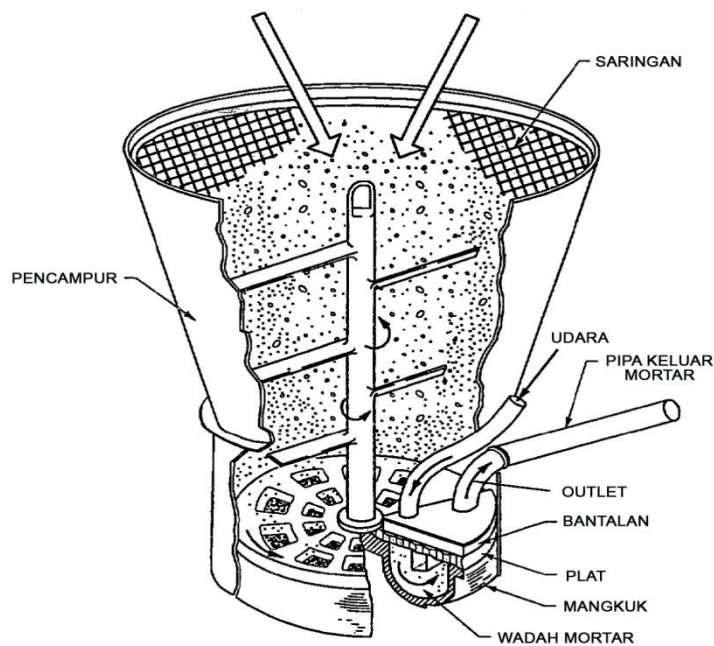


(b) Dengan feed wheel

Gambar 6 - Alat pencampuran kering jenis *single chamber* (Sumber : ACI, 1995)

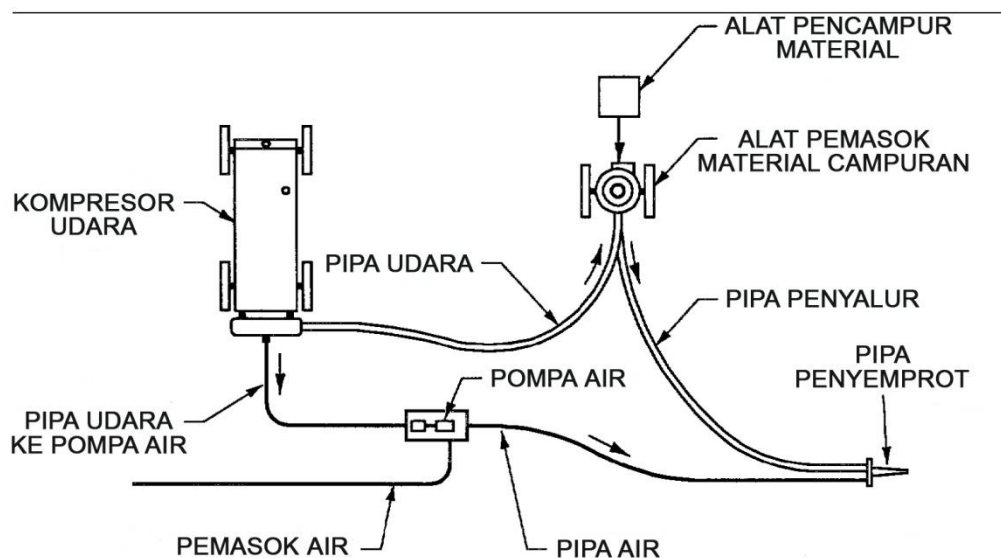


Gambar 7 - Alat pencampuran kering jenis *double chamber* (Sumber : ACI, 1995)



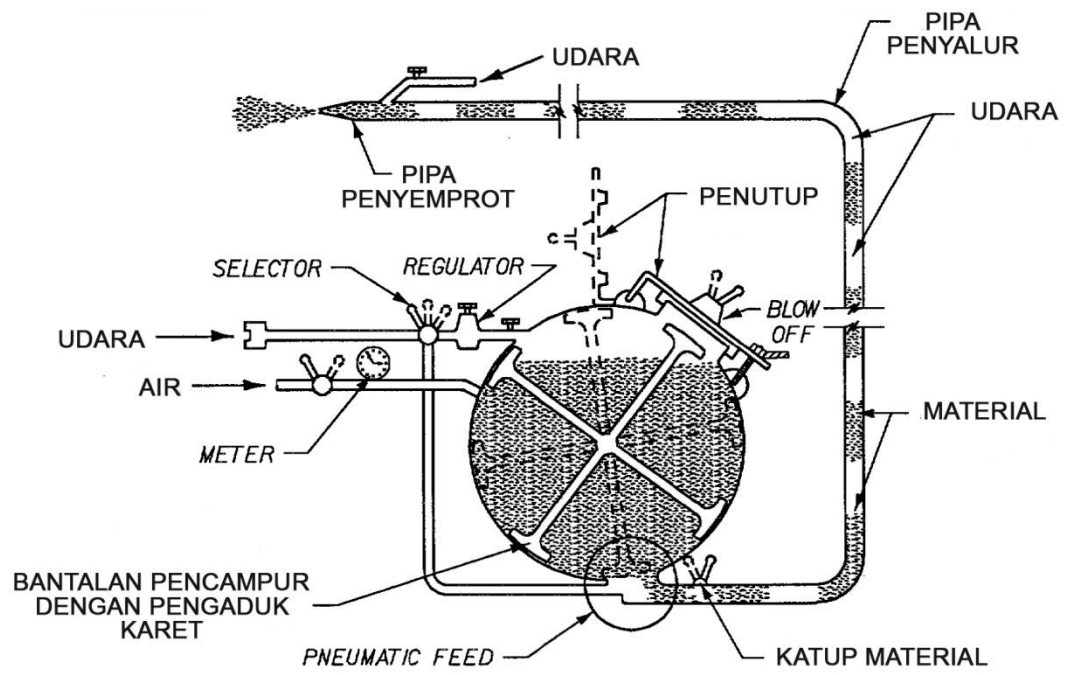
Gambar 8 - Alat pencampuran kering jenis *continous feed* (Sumber : Mahar, Parker, and Wuellner, 1975)

2. Skema kerja pencampuran kering dengan alat pencampur material, alat pemasok material campuran, kompresor udara, pemasok air, pipa udara, pipa air, pipa penyalur dan pipa penyemprot dengan skema pada Gambar 9.

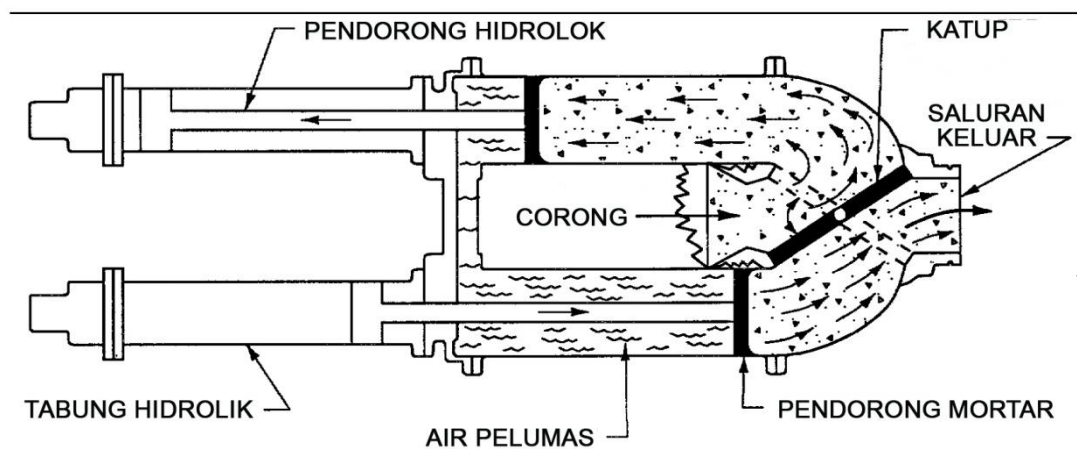


Gambar 9 - Skema kerja alat pencampuran kering (Sumber : ACI, 1995)

3. Peralatan campuran basah yaitu pompa beton, kompresor, *nozzle*, *delivery hose* mesin *pnuematic feed* pada Gambar 10 atau *positive displacement* pada Gambar 11.

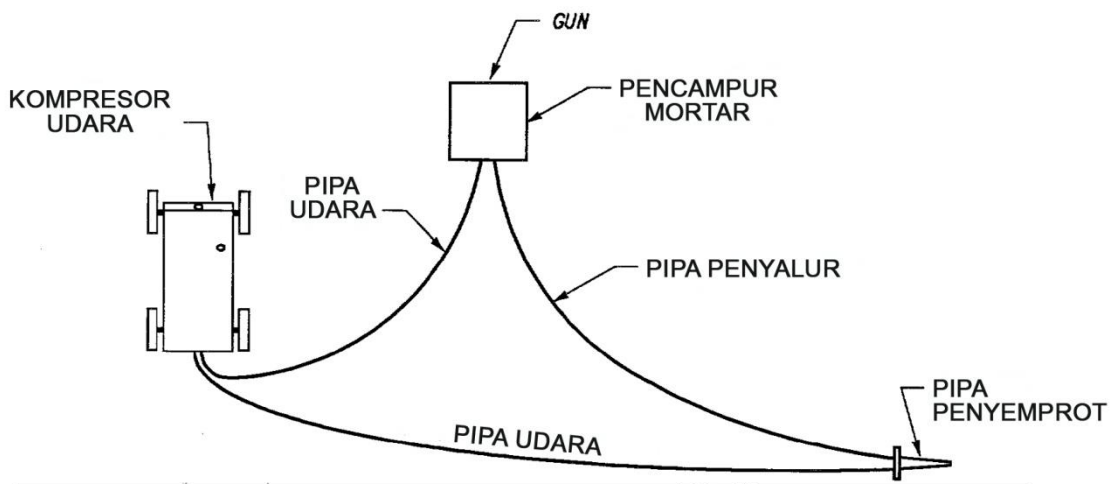


Gambar 10 - Alat pencampuran basah jenis *pneumatic-feed* (Sumber : ACI, 1995)

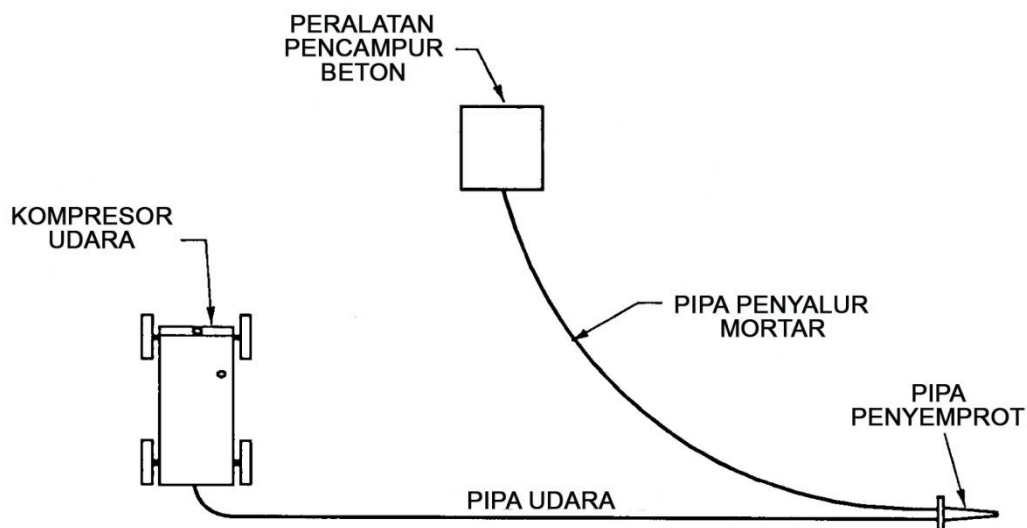


Gambar 11 - Alat pencampuran basah jenis *positive displacement* (Sumber : ACI, 1995)

4. Skema kerja pencampuran basah dengan menggunakan alat *pneumatic-feed* pada Gambar 12 dan skema kerja pencampuran basah menggunakan alat *positive displacement* Gambar 13.



Gambar 12 - Skema kerja pencampuran basah dengan menggunakan alat *pneumatic-feed* (Sumber : ACI, 1995)



Gambar 13 - Skema kerja pencampuran basah dengan menggunakan alat *positive displacement* (Sumber : ACI, 1995)

c. Kompresor

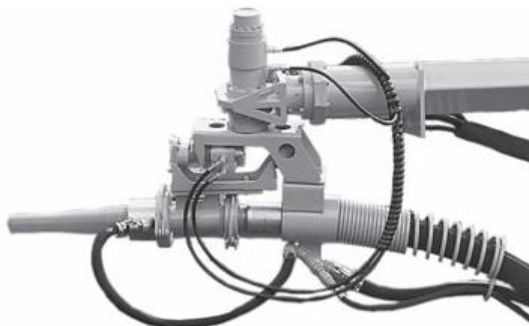
1. Kompresor yang digunakan harus mempunyai kapasitas untuk melaksanakan pekerjaan beton semprot dan mampu mensuplai tekanan udara yang bersih, kering, bebas minyak dan mampu mempertahankan kecepatan *nozzle* untuk seluruh pekerjaan termasuk pipa untuk membersihkan mesin setelah selesai pekerjaan.
2. Kapasitas kompresor, diameter pipa penghantar, dan produksi maksimum rata-rata dari beton semprot campuran kering pada Tabel 5. Tabel 5 tersebut didasarkan dengan panjang pipa 45 m, *nozzle* tidak lebih dari 7,6 m di atas peralatan beton semprot. Tekanan yang digunakan tidak boleh kurang dari 276 Kpa, ketika menggunakan panjang pipa 30m atau lebih kecil. Tekanan udara dinaikkan 35 KPa tiap penambahan 15 m pipa dan 35 KPa untuk tiap penambahan tinggi 15 m.

Tabel 5 Tekanan udara yang dibutuhkan untuk beton semprot campuran kering

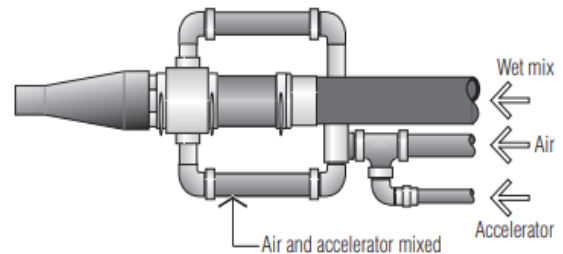
Kapasitas kompresor untuk 100 psi (ft ³ /min)	Diameter dalam pipa pengantar (in)	Produksi beton semprot maksimum (m ³ /jam)
365	1	3
425	1 - 1/4	4.6
500	1 - 1/2	6.9
700	1 - 3/4	7.6
900	2	9
1000	2 - 1/2	11.5

Sumber : US Army Corps of Engineers, 2005

- d. Alat pencampur
1. Penggunaan *truk mixer* mengacu pada SNI 03-4433-1997.
 2. Peralatan *batching* dan *mixing* harus mampu membuat campuran material menjadi homogen. Pekerjaan beton semprot pada lokasi yang terisolasi dengan kapasitas produksi rendah dilakukan dengan drum pencampur kecil (molen) dilokasi pekerjaan,
 3. Peralatan pencampuran *portabel* di lapangan sesuai dengan ASTM C 94 dan dikirim dengan *truk mixer* dari *ready-mixed concrete plant* harus sesuai dengan ASTM C 94.
- e. Selang yang digunakan terdiri dari selang udara, selang air, dan selang untuk mengantarkan material sesuai ACI 506R-90.
- f. *Nozzles* yang digunakan harus mempunyai kapasitas untuk melaksanakan pekerjaan beton semprot sesuai dengan jenis pencampuran beton semprot pada Gambar 14.



(a) Tipikal *nozzle* pencampuran basah dengan pengendali



(b) Tipikal detail *nozzle* pencampuran basah dengan pengendali



(c) Tipikal *nozzle* pencampuran basah hand held jenis pendek



(d) Tipikal *nozzle* pencampuran basah hand held jenis panjang

Gambar 14 – Tipikal *Nozzle* pencampuran basah (The Australian Shotcrete Society, 2010)

g. Alat bantu

1. Pompa pendorong air

Pompa pendorong air digunakan untuk pencampuran beton semprot kering ketika tekanan air tidak cukup membasahi campuran dengan benar, tekanan minimum yang digunakan adalah 400 kPa pada *nozzle*.

2. Perancah atau *lifting bucket equipment*

Perancah atau *lifting bucket equipment* yang digunakan harus stabil, memenuhi semua standar keselamatan yang berlaku dan dirancang tidak mengganggu operasional *nozzle*.

3. Perangkat komunikasi

Perangkat komunikasi harus digunakan untuk juru semprot dan operator pompa selama pekerjaan beton semprot. Jika tidak ada sinyal dapat digunakan bel atau peluit.

4. Penerangan

Penerangan yang digunakan harus kedap air, reflektor harus memiliki pelindung lensa untuk mencegah pecahnya lampu.

5. Pipa tiup

Pipa tiup digunakan untuk menjaga *rebound*, *overspray*, dan debris sesuai ACI 506R-90.

6. Pengereng agregat

Pengereng agregat digunakan harus sesuai ACI 506R-90.

h. Alat keselamatan

1. Helm

Helm ukuran dewasa tipe 1 kelas E sesuai standar ANSI Z89.1-2003

2. Kaca mata

3. Sepatu

4. Sarung tangan

5. Rompi

6. Tali tubuh

Tali tubuh ukuran dewasa tipe C UIAA 105 sesuai ANSI A10.14-1975

7. Alat turun naik

Aat turun naik yang dapat digunakan untuk tali dengan diameter 16 – 14 mm yang harus memiliki kekuatan minimal 7 kN

8. Cincin otomatis

Cincin otomatis dengan pengunci otomatis sesuai ANSI A10.14-1975 dengan kekuatan sumbu panjang minimal 25 kN, dengan kekuatan membuka 7 kN dan berkekuatan 7 kN untuk sumbu pendek

9. Cincin standar

Cncin standar dengan tidak ada pengunci sesuai ANSI A10.14-1975 dengan kekuatan sumbu panjang minimal 23 kN dengan kekuatan membuka 10 kN dan berkekuatan 7 kN untuk sumbu pendek.

10. Rantai *daisy (take)*

Rantai harus kuat dan memiliki kekuatan loop minimal 4 kN dan kekuatan keseluruhan 27 kN

11. Tali panjat statis

Tali untuk memanjat yang mempunyai daya lentur antara 0 – 6 %.

12. *Rope bag*

4.3.5 Persyaratan petugas pelaksana

- a. Petugas pelaksana terdiri dari mandor, juru semprot, teknisi mesin beton semprot, tenaga bantu juru semprot, dan tenaga tambahan seperti tenaga bantu teknisi atau petugas yang

- menyiapkan material. Patugas pelaksana tersebut tergantung dari skala pekerjaan dan tipe peralatan yang digunakan.
- b. Mandor harus memiliki kemampuan di semua posisi pelaksana beton semprot dan harus memiliki pengalaman minimal 3000 jam.
 - c. Juru semprot harus sudah memiliki sertifikat atau memiliki pengalaman minimal 3000 jam sebagai penyemprot dan menyelesaikan satu proyek dengan posisi serupa dengan penyemprot beton semprot. Penyemprot harus lulus uji kemampuan, melakukan tugas sebagai penyemprot dengan baik sesuai syarat dan spesifikasi.
 - d. Tugas dan tanggung jawab juru semprot adalah sebagai berikut:
 - 1. Memastikan permukaan yang akan disemprot dalam keadaan bersih, tidak berminyak atau masih terdapat permukaan yang mudah lepas.
 - 2. Memastikan ketersediaan material, lekatan beton semprot di permukaan, ketebalan dan rasio air-semen (dalam proses pencampuran kering).
 - 3. Memastikan pompa semprot beton berfungsi dengan baik.
 - 4. Memastikan tekanan udara pada peralatan beton semprot sesuai dengan tekanan yang diperlukan dan berjalan dengan stabil.
 - 5. Mengatur kadar air yang sesuai untuk beton semprot.
 - 6. Mengatur jarak dan posisi *Nozzle* pada permukaan yang akan disemprot agar dapat memberikan kepadatan yang baik pada beton semprot dan meminimalisir terjadinya pantulan (*rebound*).
 - 7. Memastikan setiap sudut pada permukaan pekerjaan beton semprot sudah terisi dengan baik dengan material beton semprot dan memastikan tidak adanya rongga di belakang tulangan yang dipasang.
 - 8. Mengarahkan pada pekerja lainnya untuk memulai atau mematikan mesin apabila material dianggap tidak seragam atau kurang baik keluar dari *nozzle*.
 - 9. Memberikan instruksi khusus atau prosedur operasional khusus jika dibutuhkan pada kasus-kasus tertentu.
 - 10. Bertanggung jawab terhadap keamanan di lokasi penyemprotan, memastikan langkah-langkah dalam pekerjaan penyemprotan agar tidak terjadi kecelakaan pada saat penyemprotan
 - e. *Finisher* harus mempunyai pengalaman dalam pekerjaan beton semprot, jika pekerjaannya spesifik, harus sesuai dengan kualifikasi tersebut.
 - f. Juru semprot harus mampu mengoperasikan peralatan beton semprot, mengetahui metode persiapan dan pencampuran dengan tepat dan berkomunikasi dengan pengalaman minimal satu tahun.

4.3.6 Pencampuran dan penakaran

4.3.6.1 Rancangan campuran

Proporsi bahan dan berat penakaran harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Sebagai pedoman awal untuk perkiraan proporsi takaran campuran dapat digunakan Tabel 4.

4.3.6.2 Rancangan percobaan

Campuran percobaan harus dibuat dan diuji dengan rancangan campuran serta bahan yang diusulkan sesuai dengan SNI 03-2834-2000, dengan disaksikan oleh pihak berwenang, yang menggunakan jenis instalasi dan peralatan sebagaimana yang akan digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan.

4.3.6.3 Penyesuaian campuran

4.3.6.3.1 Penyesuaian sifat mudah dikerjakan

Bilamana sifat kelecakan pada beton semprot dengan proporsi yang semula dirancang sulit diperoleh, maka boleh melakukan perubahan rancangan agregat, dengan syarat dalam hal apapun kadar semen yang semula dirancang tidak berubah, juga rasio air/semen yang telah ditentukan berdasarkan pengujian yang menghasilkan kuat tekan yang memenuhi tidak dinaikkan. Pengadukan kembali beton semprot yang telah dicampur dengan cara menambah air atau oleh cara lain tidak diijinkan. Bahan tambahan untuk meningkatkan sifat kelecakan hanya diijinkan bila telah dilakukan pengujian rancangan sebelumnya.

4.3.6.3.2 Penyesuaian kekuatan

Bilamana beton semprot tidak mencapai kekuatan yang disyaratkan, maka kadar semen dapat ditingkatkan atau dapat digunakan bahan tambahan dengan syarat disetujui oleh Direksi Pekerjaan.

4.3.6.3.3 Penyesuaian untuk bahan-bahan baru

Perubahan sumber atau karakteristik bahan tidak boleh dilakukan tanpa ada persetujuan tertulis, dan ditetapkan proporsi baru berdasarkan atas hasil pengujian campuran percobaan baru dengan bahan tersebut.

4.3.6.3.4 Bahan tambahan

- a. Bila akan menggunakan bahan tambahan, jenis dan takaran bahan tambahan yang akan digunakan untuk tujuan tertentu harus dibuktikan kebenarannya melalui pengujian campuran di laboratorium. Ketentuan mengenai bahan tambahan ini harus mengacu pada SNI 03-2495-2002.
- b. Pada beton semprot basah digunakan bahan tambahan berupa butiran yang sangat halus, sebagian besar berupa mineral yang bersifat cementious seperti abu terbang (*fly ash*), mikrosilika (*silica fume*), beton polimer atau abu slag besi (*iron furnace slag*), yang umumnya ditambahkan pada semen sebagai bahan utama beton semprot, maka penggunaan bahan tersebut harus berdasarkan hasil pengujian laboratorium yang menyatakan bahwa hasil kuat tekan yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan yang diinginkan.
- c. Dalam hal penggunaan bahan tambahan dalam campuran beton semprot, maka bahan tersebut ditambahkan pada saat pengadukan beton semprot.
- d. Penggunaan *additive* dan *admixture* harus dilakukan secara hati-hati dan dengan takaran yang tepat sesuai manual penggunaannya, serta dengan proses pengadukan yang baik, agar pengaruh penambahannya pada kinerja beton semprot bisa dicapai secara merata pada semua bagian beton semprot. Dalam hal ini perlu dimengerti bahwa dosis yang berlebih akan dapat mengakibatkan menurunnya kinerja beton semprot, atau dalam hal yang lebih parah, dapat menimbulkan kerusakan pada beton semprot.

4.3.6.4 Penakaran agregat

- a. Penakaran agregat harus dilakukan dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Apabila hal tersebut tidak dilakukan maka harus dilakukan koreksi penakaran sesuai dengan kondisi agregat di lapangan. Untuk mendapatkan kondisi agregat yang jenuh kering permukaan dapat dilakukan dengan cara menyemprot tumpukan agregat dengan air

secara berkala paling sedikit 12 jam sebelum penakaran untuk menjamin kondisi jenuh kering permukaan;

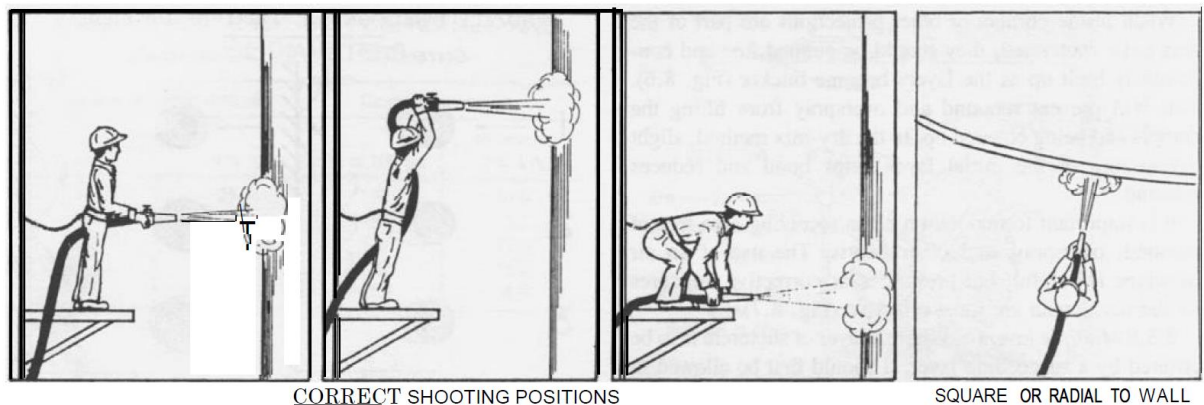
- b. Pelaksana harus dapat menunjukkan sertifikat kalibrasi yang masih berlaku untuk seluruh peralatan yang digunakan untuk keperluan penakaran bahan-bahan beton semprot termasuk saringan agregat pada perangkat *ready mix*.

4.3.6.5 Persyaratan pencampuran

Beton semprot harus dicampur dalam mesin yang dijalankan secara mekanis sesuai jenis beton semprot dan ukuran yang disetujui sehingga dapat menjamin distribusi yang merata dari seluruh bahan.

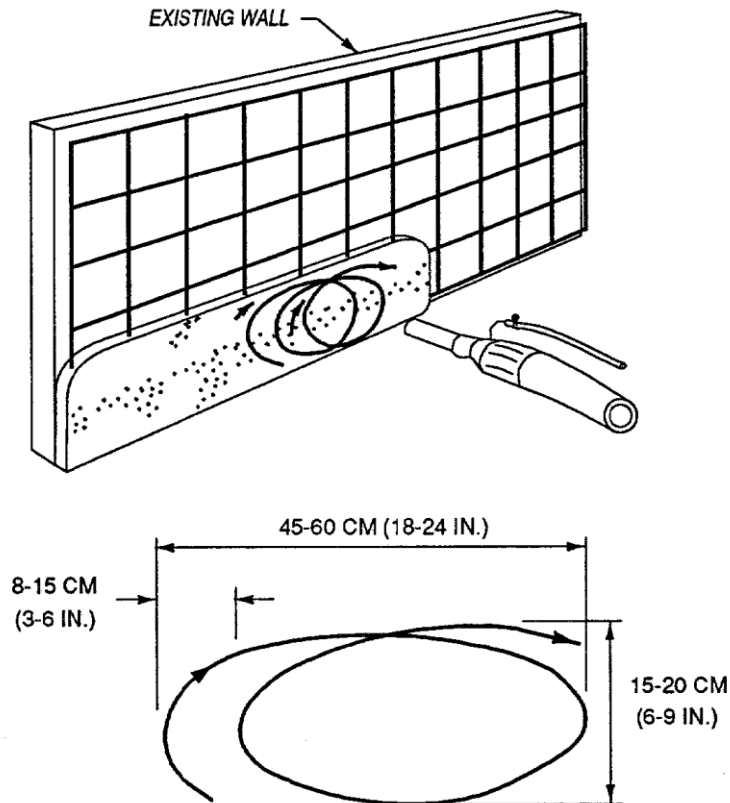
4.3.7 Persyaratan penyemprotan

- a. Penyemprotan dilakukan pada bidang yang rata dengan posisi penyemprot tegak lurus ke permukaan bidang dari bawah seperti pada Gambar 15.

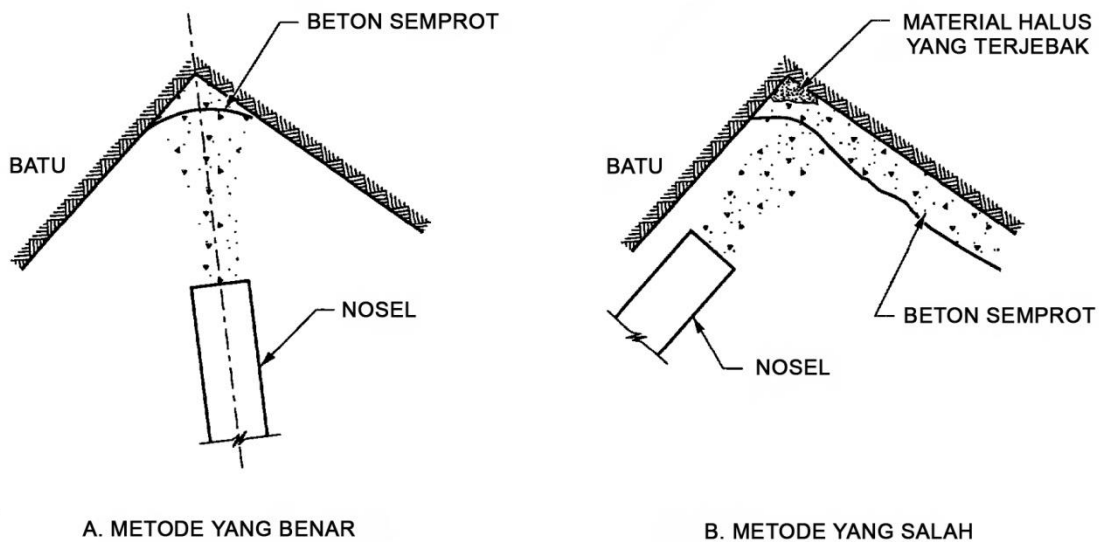


Gambar 15 – Posisi penyemprot ketika melakukan penyemprotan (ACI, 1995)

- b. Penyemprotan dilakukan dengan gerakan melingkar atau elips secara konstan seperti pada Gambar 16. *Nozzle* tidak diperbolehkan diam pada satu titik saat penyemprotan, karena akan menyebabkan *rebound* dan mempersulit kontrol terhadap ketebalan. Tekanan penyemprotan harus dikontrol agar konstan.
- c. Jarak maksimum antar penyemprot dan permukaan bidang adalah 1 m. Jika jarak antar penyemprot dan bidang melebihi 1 m, pantulan (*rebound*) akan banyak terjadi menyebabkan menurunnya kekuatan beton semprot. *Rebound* juga akan meningkat apabila jarak antara penyemprot dan bidang kurang dari 1 m.
- d. Penyemprotan pada bagian sudut harus disemprot dengan mengarahkan penyemprot tepat pada tengah-tengah sudut, seperti pada Gambar 17.
- e. Area dengan perkuatan tulangan baja harus disemprot dari kedua sudut tulangan bajanya agar bagian belakang tulangan baja terisi oleh material beton semprot.



Gambar 16 - Gerakan penyemprotan (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner 1975)



Gambar 17 - Arah penyemprot (*nozzle*) ketika melakukan penyemprotan sudut bidang (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner 1975)

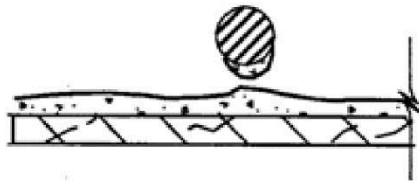
- f. Tekanan angin yang berlebihan (*overspray*) akan menyebabkan material yang didorong oleh tekanan angin tidak menumpuk di titik yang dituju. Selain itu material beton semprot akan berkurang kadar semennya dan menyebabkan berkurangnya kekuatan beton semprot. Pekerjaan penyemprotan pada sudut horizontal dan vertikal harus dilakukan terlebih dahulu untuk mengurangi daerah *rebound*.

- g. Penyemprotan pada bagian tulangan harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari terjadinya rongga atau material yang tidak bersemen berkumpul di balik tulangan. Untuk mengatasi hal tersebut penyemprotan dilakukan dengan cara mendekatkan *Nozzle* ke bidang penyemprotan dan sedikit membentuk sudut ke arah tulangan sehingga bagian belakang tulangan dapat terisi oleh material beton semprot (Gambar 15).
- h. Tulangan bagian depan/luar harus dipastikan bersih dari material sampai bagian belakang tulangan terisi oleh material. Alat tekanan udara tambahan (*blowpipe*) harus digunakan selama proses ini untuk menghilangkan material yang terkumpul akibat pantulan di tulangan bagian depan (Gambar 16).
- i. Pemasang tulangan yang baik dapat meminimalisir terjadinya tulangan tidak terisi oleh material dan material tidak bersemen.
- j. Ketika melakukan pekerjaan pada bidang vertikal, penyemprotan harus dilakukan dari bawah ke atas.

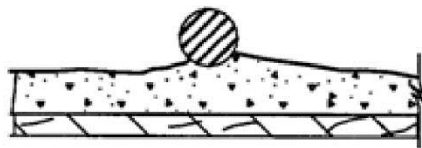
4.3.8 Persyaratan perawatan

- a. Perawatan permukaan beton semprot dilakukan dengan cara menjaga permukaan tetap lembab selama 7 hari sesuai ACI 308 dan ACI 506.2.
- b. Perawatan alami diizinkan jika kelembaban berada minimal 85 persen.
- c. Pengeringan beton semprot yang cepat pada akhir periode perawatan harus dihindari.

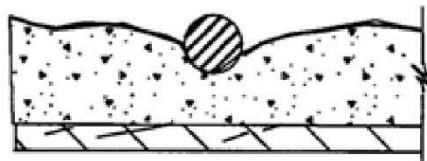
BENAR
NOSEL DEKAT DENGAN
BIDANG SEMPROT



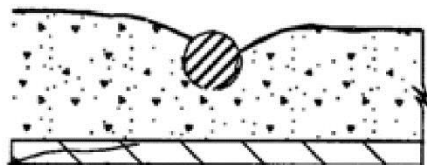
1. Dengan tekanan yang besar beton semprot terkumpul pada bagian belakang tulangan.



2. Bagian belakang tulangan tertutup sempurna.

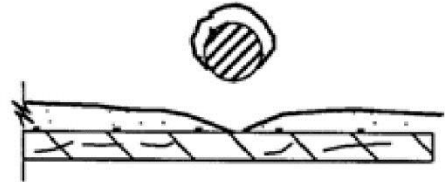


3. Bagian muka tulangan masih bersih dari beton semprot.

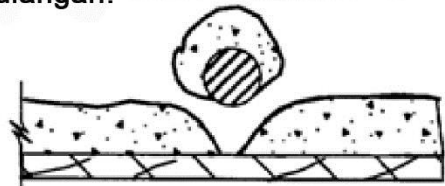


4. Tulangan hampir tertutup sempurna.

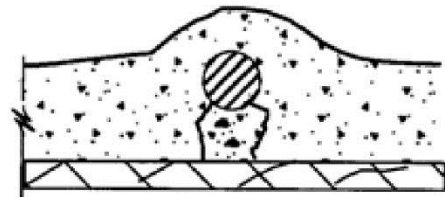
SALAH
NOSEL TERLALU JAUH
DENGAN BIDANG SEMPROT



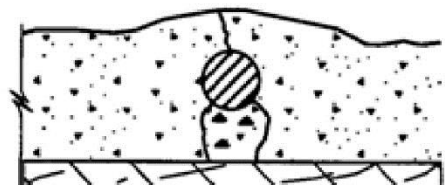
1. Tekanan yang kecil menyebabkan beton semprot menempel pada muka tulangan.



2. Beton semprot banyak menempel pada bagian muka tulangan.



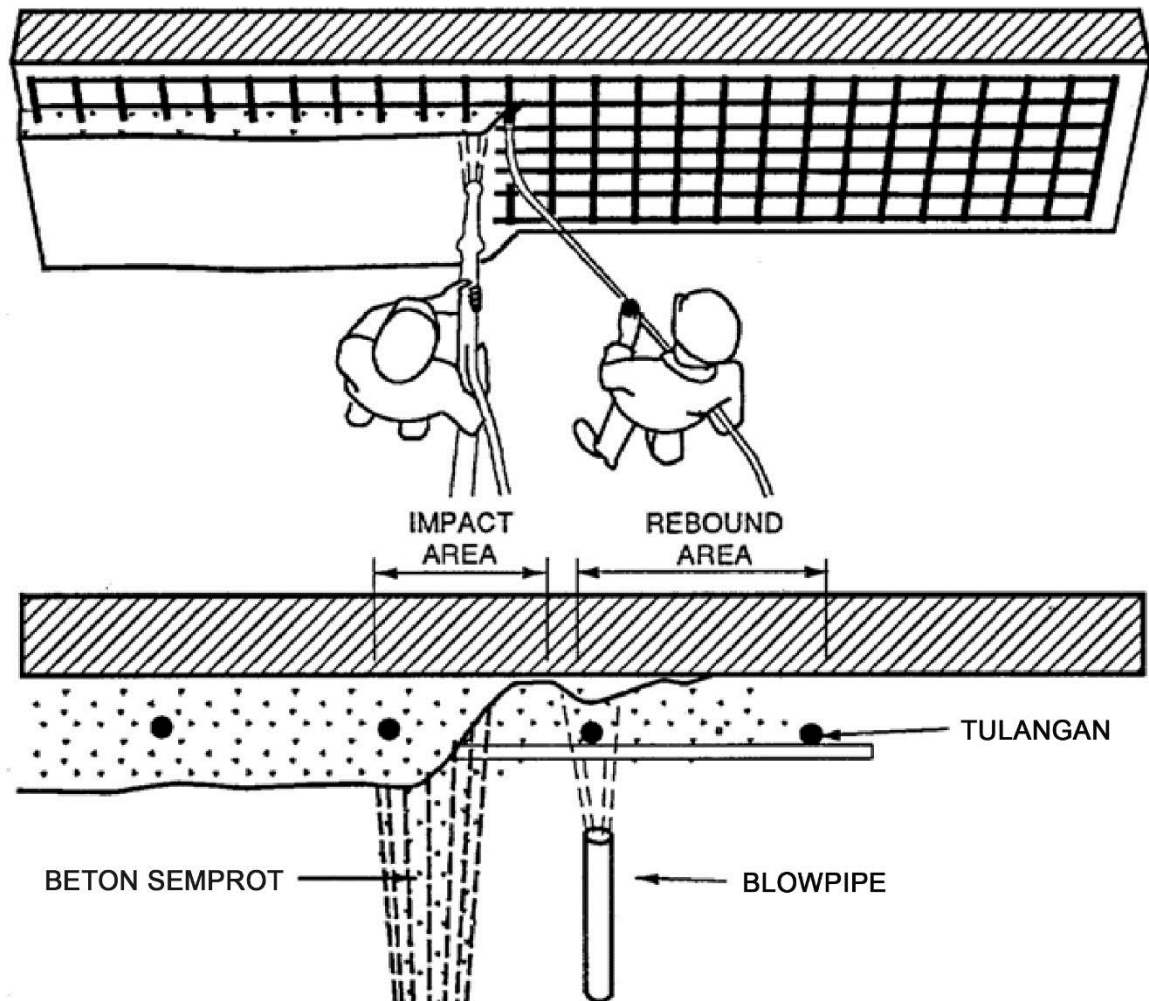
3. Pasir, material berongga terkumpul di bagian belakang tulangan.



4. Retak akibat susut akan terjadi kemudian.

ARAH PENGAPLIKASIAN

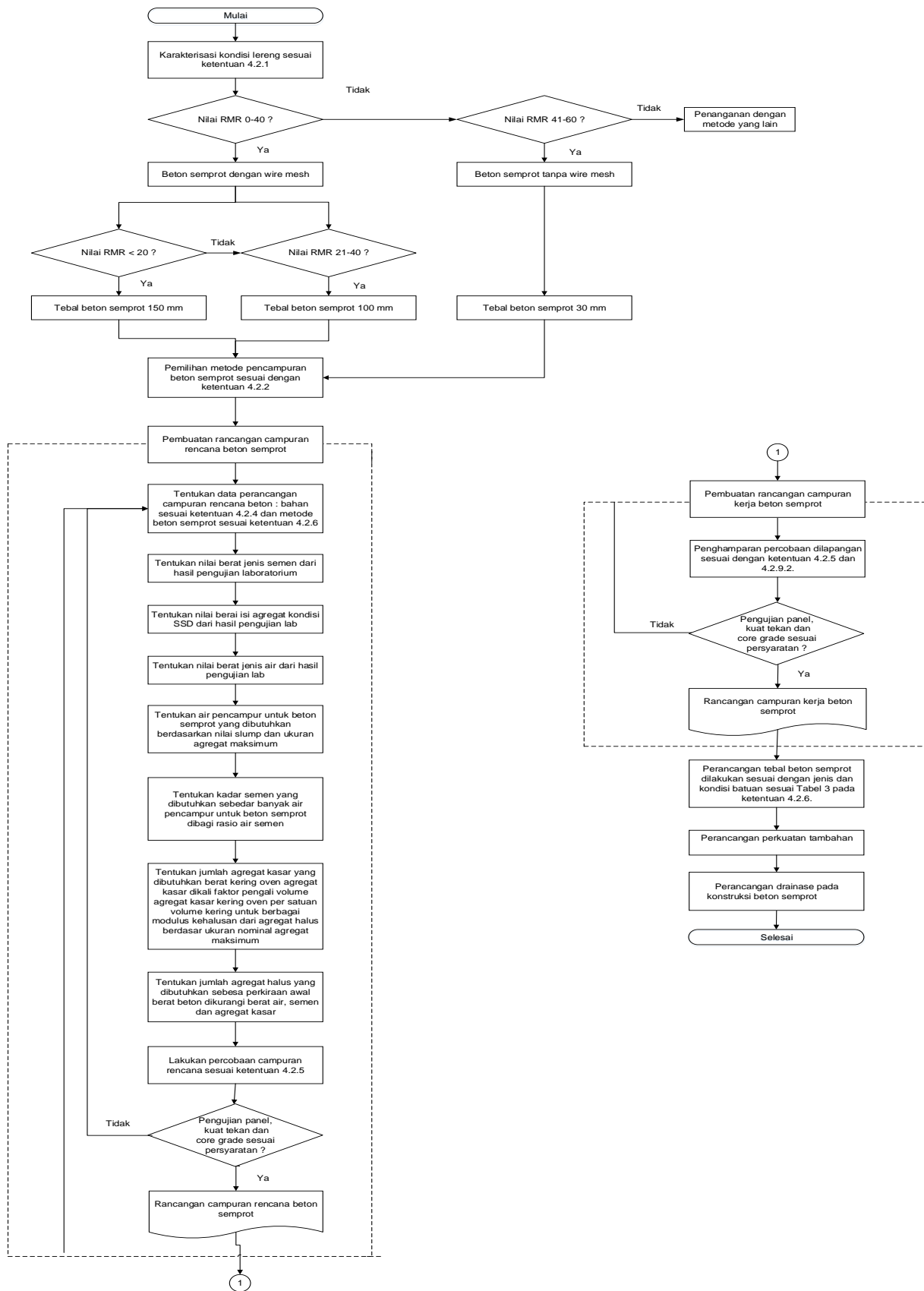
Gambar 18 - Metode penyemprotan beton semprot pada tulangan baja (Sumber : Mahar, Parker, dan Wuellner 1975)



Gambar 19 - Penggunaan alat tekanan udara tambahan (*blowpipe*) (Sumber : Ryan, 1973)

5 Prosedur perancangan beton semprot

Perancangan beton semprot di mulai dengan karakterisasi kondisi lereng, pemilihan metode pencampuran beton semprot, pembuatan rancangan campuran rencana untuk mendapatkan komposisi material campuran, pembuatan rancangan campuran kerja beton semprot, perancangan tebal beton semprot, perancangan perkuatan tambahan, dan perancangan drainase pada Gambar 20.



Gambar 20 – Prosedur perancangan beton semprot

5.1 Karakterisasi kondisi lereng

- a. Karakterisasi kondisi lereng dilakukan dengan *scaling system* di lokasi penanganan sesuai ketentuan 4.2.1.
- b. Setelah karakterisasi lereng dilakukan, dilanjutkan dengan evaluasi terhadap kondisi lahan yang ada di sekitar lokasi aplikasi beton semprot sesuai ketentuan 4.2.1.

5.2 Pemilihan beton semprot

- a. Pemilihan beton semprot tanpa wire mesh didasarkan pada nilai RMR sesuai ketentuan 4.2.2 Tabel 2.
- b. Pemilihan beton semprot dengan wire mesh didasarkan pada nilai RMR sesuai ketentuan 4.2.2 Tabel 2.

5.3 Penentuan tebal beton semprot

Penentuan tebal beton semprot didasarkan pada nilai RMR sesuai ketentuan 4.2.2 Tabel 2

5.4 Pemilihan metode pencampuran beton semprot

Pemilihan metode pencampuran beton semprot dilakukan sesuai dengan ketentuan 4.2.3.

5.5 Pembuatan rancangan campuran rencana beton semprot

- a. Tentukan data perancangan campuran rencana beton semprot untuk bahan sesuai dengan ketentuan 4.2.4 dan campuran beton semprot sesuai metodenya pada ketentuan 4.2.6.
- b. Tentukan nilai berat jenis semen dari hasil pengujian laboratorium
- c. Tentukan nilai berat isi agregat kondisi SSD dari hasil pengujian laboratorium
- d. Tentukan nilai berat jenis air dari hasil pengujian laboratorium
- e. Tentukan air pencampur untuk beton semprot yang dibutuhkan berdasarkan nilai slump dan ukuran agregat maksimum.
- f. Tentukan kadar semen yang dibutuhkan sebesar banyaknya air pencampur untuk beton semprot dibagi rasio air semen
- g. Tentukan jumlah agregat kasar yang dibutuhkan berat kering oven agregat kasar dikali faktor pengali volume agregat kasar kering oven per satuan volume kering untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus berdasar ukuran nominal agregat maksimum.
- h. Tentukan jumlah agregat halus yang dibutuhkan sebesar perkiraan awal berat beton dikurangi berat air, semen dan agregat kasar.
- i. Lakukan percobaan campuran rencana sesuai ketentuan 4.2.5
- j. Lakukan pengujian yang meliputi pengujian panel, pengambilan benda uji, pengujian kuat tekan dan *core grade* sesuai ketentuan 4.2.8.2.
- k. Jika percobaan tersebut gagal memenuhi salah satu persyaratan pada ketentuan 4.2.5 dan 4.2.8.3 maka dilakukan penyesuaian dan percobaan kembali hingga memenuhi ketentuan tersebut.

5.6 Pembuatan rancangan campuran kerja beton semprot

- a. Setelah pembuatan rancangan campuran rencana dilakukan penghamparan percobaan dilapangan sesuai dengan ketentuan 4.2.5 dan 4.2.8.2.

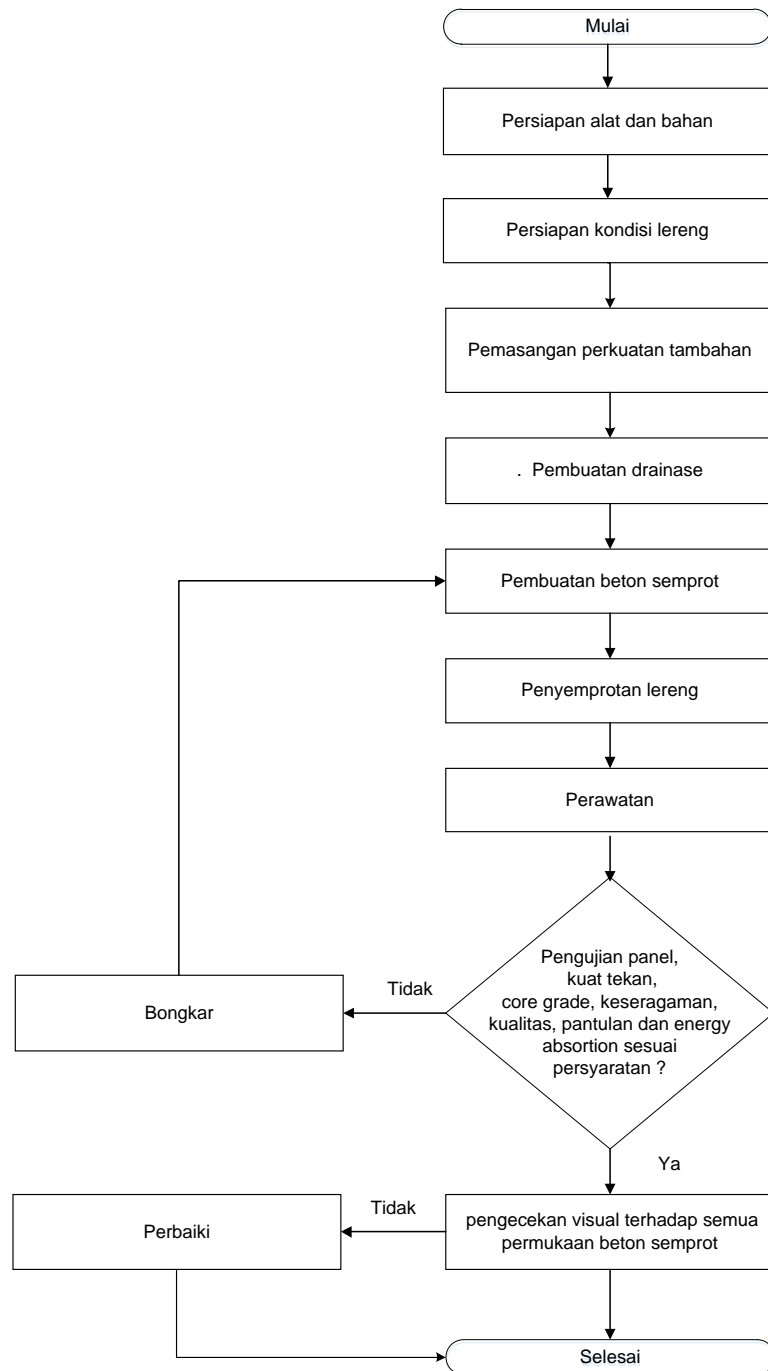
- b. Jika percobaan tersebut gagal memenuhi ketentuan 4.2.5 dan 4.2.8.2. pada salah satu persyaratan maka dilakukan penyesuaian dan percobaan kembali hingga memenuhi ketentuan tersebut.
- c. Campuran yang sesuai spesifikasi ini disebut rancangan campuran kerja yang dijadikan acuan untuk pelaksanaan pekerjaan beton semprot.

5.4 Perancangan drainase pada konstruksi beton semprot

Perancangan drainase pada konstruksi beton semprot dilakukan sesuai ketentuan 4.2.7.

6 Prosedur pelaksanaan beton semprot

Pelaksanaan beton semprot dimulai dengan persiapan alat dan bahan, persiapan kondisi lereng, persiapan kondisi lereng, pemasangan perkuatan tambahan, pembuatan drainase, pembuatan beton semprot, penyemprotan, perawatan, pengendalian mutu, pengecekan visual sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21 - Prosedur pelaksanaan beton semprot

6.1 Persiapan alat dan bahan

- Bahan-bahan untuk pelaksanaan beton semprot sebagaimana tertera pada ketentuan 4.3.1 dan 4.3.2 yang telah memenuhi persyaratan disediakan di lapangan.
- Peralatan sebagaimana pada ketentuan 4.3.1 dan 4.3.3 disiapkan dan diperiksa dalam kondisi baik.

6.2 Persiapan kondisi lereng

- a. Penyiapan lantai kerja sesuai ketentuan 4.3.3.
- b. Pembersihan pohon atau tanaman yang berpotensi merusak beton semprot atau bagian lainnya dapat dilakukan dengan cara manual atau mekanis. Pembersihan lereng dengan cara manual dilakukan dengan pekerja memanjat dan menuruni lereng menggunakan tali dan alat keselamatan lainnya. Pekerja dapat juga membersihkan lereng dengan menggunakan *crane*.

6.3 Pemasangan perkuatan tambahan

- a. Pemasangan perkuatan tambahan sesuai dengan ketentuan 4.2.2
- b. Pekerjaan perkuatan tambahan dilakukan sebelum penyemprotan.

6.4 Pembuatan drainase

- b. Pembuatan drainase permukaan sesuai ketentuan 4.2.7, spesifikasi dan gambar rencana.
- c. Pembuatan drainase bawah permukaan ketentuan 4.2.7, spesifikasi dan gambar rencana.

6.5 Pembuatan beton semprot

- a. Pembuatan beton semprot sesuai dengan rancangan campuran kerja pada 5.6.
- b. Pencampuran beton semprot dapat dilakukan di *batching plant* atau di lapangan dengan *concrete mixer* sesuai ketentuan 4.3.4.
- c. Alat yang digunakan sesuai dengan ketentuan 4.3.4.
- d. Pengangkutan beton semprot yang dicampur di *batching plant*, ke lokasi penyemprotan harus menggunakan antara lain *tipping trucks*, *truck mixer*, *transit mixers*, sesuai dengan pertimbangan ekonomis dan jumlah beton semprot yang diangkut. Pengangkutan harus dapat menjaga beton semprot tetap homogen, tidak segregasi dan tidak menyebabkan perubahan konsistensi.

6.6 Penyemprotan

- a. Lakukan penyemprotan sesuai ketentuan 4.3.7.
- b. Tebal beton semprot sesuai dengan ketentuan 4.2.6.
- c. Alat yang digunakan dalam penyemprotan sesuai ketentuan 4.3.4.
- d. Lakukan penyemprotan tipis sebagai lapisan awal (*initial coat*) pada permukaan lereng yang mudah longsor sebelum dilakukan penyemprotan keseluruhan lapisan beton semprot.
- e. Lakukan penyemprotan pada bagian sudut terlebih dahulu untuk menghindari material *rebound* atau *overspray* kemudian dilanjutkan ke bidang yang datar sesuai ketentuan 4.3.4
- f. Penyemprotan dapat dilakukan secara menerus seperti pada denah penyemprotan dan apabila ada tanjakan atau turunan penyemprotan dapat dilakukan per segmen.
- g. Jaga bidang permukaan tetap lembab sampai proses penyemprotan lapisan pertama beton semprot selesai.
- h. Ketika proses penyemprotan selesai, segera lakukan pembersihan material-material *rebound* dan *overspray* sebelum lapisan beton semprot mengering.
- i. Lakukan pengujian beton semprot sesuai dengan ketentuan 4.2.8.2

6.7 Perawatan

Lakukan perawatan (*curing*) permukaan beton semprot dengan cara menjaga permukaan tetap basah selama 7 hari sesuai ketentuan 4.3.8.

6.7 Pengendalian mutu

- a. Kunci keberhasilan pelaksanaan beton semprot yaitu pengendalian mutu yang baik untuk mendapatkan kinerja yang baik.
- b. Pengujian *grade code* sesuai ketentuan 4.2.8.2 butir d2
- c. Pengujian kuat tekan sesuai ketentuan 4.2.8.2 butir d3
- d. Pengujian keseragaman dan kualitas dari beton semprot sesuai ketentuan 4.2.8.2 butir d4
- e. Pengujian pantulan beton semprot sesuai ketentuan 4.2.8.2 butir d5
- f. Pengujian *residual energy absorption* sesuai ketentuan 4.2.8.2 butir d6

6.8 Pengecekan visual

- a. Lakukan pengecekan visual terhadap semua permukaan beton semprot untuk mengetahui adanya retakan sesuai ketentuan 4.2.8.2 butir d6.
- b. Segera lakukan perbaikan pada permukaan beton semprot yang rusak sebelum beton semprot mengering.

Lampiran A
(Informatif)
Contoh perhitungan untuk komposisi beton semprot

Salah satu metode penentuan proporsi campuran awal adalah untuk memperkirakan kepadatan basah campuran (dari pemasok agregat data atau agregat uji kepadatan relatif) dan lanjutkan seperti yang diberikan dalam contoh berikut ini. Contoh penentuan proporsi campuran ini menggunakan acuan SNI 7656:2012.

Diketahui				
Kuat tekan rata2 umur 28 hari	=	28	Mpa	
Slump	=	40	-	75 mm
Ukuran agregat max	=	37,5	mm	
Berat kering oven agregat kasar	=	1600	kg/m ³	
Semen	=	semen tanpa tambahan udara		
Berat jenis semen	=	3,15		
Agregat halus	Modulus kehalusan	=	2,8	
	Berat jenis (SSD)	=	2,64	
	Penyerapan air (%)	=	0,7	
Agregat kasar	Modulus kehalusan	=	-	
	Berat jenis (SSD)	=	2,681	
	Penyerapan air (%)	=	0,5	
Ditanyakan	=	banyak masing2 bahan/m ³ beton		

Langkah 1 Pemilihan slump, slump 40-75 mm

Langkah 2 Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum, ukuran besar agregat maksimum = 37,5 mm

Langkah 3 Perkiraan air pencampur dan kandungan udara

Beton yang dibuat adalah beton tanpa tambahan udara, karena strukturnya tidak akan terkena pemaparan tingkat berat. Dari Tabel 2, banyaknya air pencampur untuk beton tanpa tambahan udara dengan slump 75 mm sampai dengan 100 mm dan besar butir agregat maksimum yang dipakai 37,5 mm adalah = 181 kg/m³

Tabel 2 Perkiraan kebutuhan air pencampur dan kadar udara untuk berbagai slump dan ukuran nominal agregat maksimum batu pecah

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm*	12,7 mm*	19 mm*	25 mm*	37,5 mm*	50 mm [†] *	75 mm ^{††}	150 mm ^{††}
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	112
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
> 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton dengan tambahan udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
> 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut : ringan (%)								
	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5**††	1,0**††
sedang (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5**††	3,0**††
berat ^{††} (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5**††	4,0**††

Langkah 4 Pemilihan rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen

Rasio air-semen untuk beton berkekuatan 28 MPa dari Tabel 3 adalah = 0,5

Tabel 3 Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air-bahan bersifat semen {w/(c+p)} dan kekuatan beton

Kekuatan beton umur 28 hari, MPa*	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Langkah 5 Perhitungan kadar semen

Dari data yang diperoleh di langkah 3 dan langkah 4, banyaknya kadar semen adalah

$$\frac{\text{Banyaknya air pencampur untuk beton tanpa tambahan udara dengan slump}}{\text{Rasio air semen}} = 362 \text{ kg/m}^3$$

Langkah 6 Perkiraan kadar agregat kasar

Banyaknya agregat kasar diperkirakan dari Tabel 5. Untuk agregat halus dengan modulus kehalusan 2,8 dan agregat kasar dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm, memberikan angka sebesar 0,71 m³ untuk setiap m³ beton.

$$= 0.71 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, berat keringnya, 0,71 x 1600

$$= 1136 \text{ kg}$$

Tabel 5 Volume agregat kasar per satuan volume beton

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan [†] dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Volume berdasarkan berat kering oven sesuai SNI 03-4804-1998

Lihat SNI 03-1968-1990 untuk menghitung modulus kehalusan.

Langkah 7 Perkiraan kadar agregat halus

Dengan sudah diketahuinya jumlah air, semen dan agregat kasar, maka bahan lain yang akan digunakan untuk membuat 1 m³ beton adalah agregat halus dan udara yang akan terperangkap. Banyaknya agregat halus dapat ditentukan berdasarkan berat atau volume absolut sebagai berikut :

7.1 Atas dasar massa (berat)

Dari Tabel 6, massa 1 m³ beton tanpa tambahan udara yang dibuat dengan agregat berukuran nominal maksimum **37,5 mm**, diperkirakan sebesar 2410 kg.

Campuran percobaan pertama

Pengaturan pasti nilai ini akibat adanya perbedaan slump, faktor semen, dan berat jenis agregat tidaklah begitu penting. Berat (massa) yang sudah diketahui adalah :

$$\text{Air (berat bersih)} = 181 \text{ kg}$$

Semen	=	362	kg
Agregat kasar	=	1136	kg
Jumlah	=	1679	kg
Jadi, massa (berat) agregat halus = $2410 - 1609$	=	731	kg

7.2 Atas dasar volume absolut

Dengan jumlah air, semen dan agregat kasar yang ada, dan perkiraan adanya udara terperangkap sebesar 1 persen diberikan dalam Tabel 2 (berlawanan dengan udara yang ditambahkan), maka kadar pasir dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Volume air} = \frac{181}{1000} = 0.181 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume padat semen} = \frac{292}{3,15 \times 1000} = 0.114921 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume absolute agregat kasar} = \frac{1136}{2,68 \times 1000} = 0.423722 \text{ m}^3$$

Volume udara terperangkap = $0,01 \times 1,000 = 0,010 \text{ m}^3$

Jumlah volume padat bahan selain agregat halus = $0,708 \text{ m}^3$

Volume agregat halus dibutuhkan = $1,000 - 0,708 = 0,292 \text{ m}^3$

Berat agregat halus kering yang dibutuhkan = $0,292 \times 2,64 \times 1000 = 771 \text{ kg}$

Tabel 6 Perkiraan awal berat beton segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ^{3*}	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

*Nilai yang dihitung memakai rumus 1 untuk beton dengan jumlah semen cukup banyak (330 kg semen per m³), dan dengan slump sedang dan berat jenis agregat 2,7. Untuk slump sebesar 75 mm sampai dengan 100 mm menurut Tabel 2. Bila informasi yang diperlukan cukup, maka berat perkiraan

Bibliografi

Caltrans bank scaling and rock climbing, 2013, California Department of Transportation

Design guidelines to avoid, minimise and improve the appearance of shotcrete, 2005, RTA

Recommended Practice Shotcreting in Australia, 2010, The Australian Shotcrete Society

Daftar nama dan lembaga

1. Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

2. Penyusun

Nama	Lembaga
Dinny Kus Andiany, MT	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Cahya Ahmad Gumilar, M.Sc	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Elan Kadar, M.Sc	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan