

METODE KERJA *CAPPING BEAM* PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL

Mohammad Fahrul Falah¹, Muhammad Yusuf²

⁽¹⁾⁽²⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Pancasakti
Tegal

Email: icoyy00@gmail.com ⁽¹⁾

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis metode pelaksanaan konstruksi balok penutup serta mengidentifikasi kendala teknis pada proyek jalan tol. Metode yang digunakan adalah studi kasus deskriptif analitis dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif melalui pengamatan lapangan langsung serta pengujian laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstruksi balok penutup diselesaikan melalui tujuh tahapan teknis terintegrasi yang berhasil menyatukan tiang pancang menjadi struktur dinding penahan monolit. Pengendalian mutu membuktikan kelayakan material dengan kepadatan tanah dasar mencapai 18,50% - 19,20%, nilai kekentalan beton segar sebesar 11,80 cm, dan kuat tekan beton umur 28 hari mencapai 41,08 MPa. Kendala kelongsoran tanah pada area kritis diatasi melalui kombinasi pelebaran sudut kemiringan lereng dan pemasangan sistem cerucuk bambu sebagai tiang mikro penahan tanah, sedangkan rembesan air laut ditangani dengan metode pengurasan air (*dewatering*). Hasil penelitian ini sangat relevan sebagai referensi teknis yang teruji untuk meningkatkan stabilitas tanggul laut dan kolam retensi di wilayah pesisir.

Kata Kunci: *Capping Beam*, Cerucuk Bambu, *Dewatering*, Jalan Tol, *Sheet Pile*

Abstract

The purpose of this study is to analyze the method of implementation of the construction of the beam cover and identify technical constraints on toll road projects. The method used is descriptive analytical case studies with quantitative and qualitative approaches through direct field observation and laboratory testing. The results showed that the construction of the covering Beams was completed through seven integrated technical stages that successfully united the piles into a monolith retaining wall structure. Quality control proved the feasibility of the material with subgrade density reached 18.50% - 19.20%, fresh concrete viscosity value of 11.80 cm, and compressive strength of concrete aged 28 days reached 41.08 MPa. Soil erosion constraints in critical areas are overcome through a combination of widening the slope angle and the installation of a bamboo pile system as a micro-pillar retaining soil, while seepage of seawater is handled by dewatering method. The results of this study are very relevant as a tested technical reference to improve the stability of sea levees and retention ponds in coastal areas.

Keywords: *Capping Beam*, Bamboo Pile, *Dewatering*, Toll Road, *Sheet Pile*

Pendahuluan

Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian dari sistem jaringan jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol dan memiliki peran yang sangat signifikan bagi perkembangan suatu daerah. Disamping itu, jalan tol merupakan jalan bebas hambatan dan jalan nasional yang dapat menunjang peningkatan pertumbuhan perekonomian. Pengadaan jalan tol sendiri dimaksudkan untuk mewujudkan pemerataan pembangunan serta keseimbangan dalam pengembangan suatu wilayah.

Saat ini Indonesia sudah mengandalkan jalan tol sebagai jalur transportasi antar daerah. Sayangnya pembangunan jalan tol di Indonesia terbilang lambat dibandingkan dengan negara – negara tetangga hal tersebut dapat dikaitkan dengan pembebasan tanah sejumlah daerah untuk pembangunan infrastruktur jalan tol selalu tersendat dan salah satu penyebab terjadinya hal tersebut

adalah kurang kooperatifnya Pemerintah Daerah (Pemda) setempat. Jaringan jalan tol yang menjadi dasar pengembangan jaringan jalan tol dan sebagai acuan bagi investor dalam berinvestasi. Dengan adanya jaringan jalan yang lancar diharapkan aktifitas ekonomi pun akan menjadi lancar, sehingga pertumbuhan ekonomi bisa dipacu lebih cepat yang akan bermuara pada peningkatan kesejahteraan masyarakat. Seperti halnya yang terjadi pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak yang akan menggabungkan wilayah Semarang – Demak.

Pembangunan jalan tol merupakan salah satu bentuk usaha pemerintah dalam memudahkan masyarakat di Indonesia untuk bisa melakukan mobilitas mereka baik dalam hal ekonomi maupun sosial dengan baik dan cepat. Pembangunan dengan skala besar selain membutuhkan modal besar juga membutuhkan tanah untuk mendirikan bangunan tersebut. Jalan tol merupakan proyek yang digadang-gadang pemerintah dapat mengurai kemacetan sampai dapat menjadi tanggul Laut. Salah satu Mega Proyek Jalan Tol yang saat ini sedang di kerjakan adalah Proyek Jalan Tol Semarang – Demak. Mega proyek ini sedang disebut pengerjaannya agar dapat terselesaikan sesuai dengan target yang sudah ditentukan.

Kehadiran jalan tol ini memegang peranan vital dalam memitigasi bencana banjir rob tahunan yang merendam jalan nasional Pantura ruas Kaligawe – Sayung. Banjir rob tersebut selama ini menjadi sumber kemacetan dan melumpuhkan kegiatan industri serta distribusi logistik regional. Dengan beroperasinya jalan tol ini, waktu tempuh dari Semarang menuju Demak dapat dipangkas secara signifikan dari semula 45 hingga 90 menit akibat kemacetan menjadi hanya sekitar 20 menit. Keunikan utama dari mega proyek ini adalah integrasinya dengan fungsi tanggul laut (*sea dike*), menjadikannya pelopor pembangunan infrastruktur jalan tol dengan sistem polder pertama di Indonesia.

Jalan tol Semarang – Demak akan dilengkapi dengan kolam retensi dan rumah pompa. Dalam proses Pembangunan kolam retensi ini salah satunya adalah dibangun sebuah tanggul. Tanggul tersebut berfungsi sebagai dinding penahan untuk menampung air banjir yang diarahkan dari sungai ke kolam retensi guna mengendalikan debit air yang berada di sekitar lingkungan masyarakat sebelum air tersebut di lepas ke laut. Tanggul ini dibangun dengan mengelilingi kolam retensi yang direncanakan sebagai dinding penahan tanah dan air untuk menjaga kestabilan tanggul tersebut diperlukan adanya analisis rembesan air sehingga dapat mengetahui tingkat keamanan tanggul dalam menahan tekanan air. Pengendalian air banjir yang diarahkan dari sungai ke kolam retensi memerlukan tanggul pengeliling yang berfungsi sebagai dinding penahan tanah (*retaining wall*) yang kokoh guna menahan tekanan hidrostatik dan rembesan air.

Dalam menjaga kestabilan tanggul kolam retensi di atas tanah lunak pesisir, digunakan teknologi dinding penahan tanah berupa *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* yang dikunci oleh balok pengikat atas berupa *capping beam*. Mengingat ketatnya durasi pelaksanaan proyek dan kompleksitas kondisi lapangan, maka penelitian ini membatasi pembahasan pada lingkup pekerjaan galian, pemancangan CCSP, hingga pengecoran *capping beam*. Perumusan masalah difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu bagaimana metode kerja konstruksi *capping beam* diterapkan di lapangan, bagaimana mutu dan kekuatan material diuji secara sistematis, serta kendala teknis apa saja yang terjadi beserta solusi yang diajukan.

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah bagaimana metode kerja *Capping Beam*, dan kendala apa saja yang terjadi pada pelaksanaan pekerjaan *Capping Beam*. Oleh karenanya, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui metode kerja *Capping Beam*, dan mengetahui kendala yang terjadi selama proses pelaksanaan pekerjaan *Capping Beam*.

Landasan Teori

Proyek Konstruksi

Menurut King, proyek adalah gabungan dari berbagai sumber daya yang dihimpun dalam suatu wadah organisasi sementara untuk mencapai suatu sasaran tertentu. Kegiatan atau tugas yang dilaksanakan pada proyek pembangunan/perbaikan sarana fasilitas (gedung, jalan, jembatan,

bendungan dan sebagainya) atau bisa juga berupa kegiatan penelitian, pengembangan. Sedangkan kontruksi bangunan adalah mendirikan suatu bangunan. Maka proyek kontruksi adalah usaha untuk mendirikan suatu bangunan dengan waktu tertentu dengan menggunakan sumber daya proyek yang terbatas [2]. Manajemen proyek konstruksi mencakup pengelolaan sumber daya seperti waktu, biaya, dan tenaga kerja untuk memastikan proyek diselesaikan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, dalam batas waktu yang ditentukan, dan dengan anggaran yang telah ditetapkan. Keterlibatan berbagai pihak dan koordinasi yang efektif sangat penting untuk mencapai kesuksesan dalam proyek konstruksi [2].

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) adalah kementerian dari Pemerintah Republik Indonesia yang mempunyai wewenang dan tanggung jawab di dalam masalah-masalah bidang pekerjaan umum. Direktorat Jenderal Bina Marga adalah salah satu Direktorat Jenderal dalam Kementerian PUPR yang bertanggungjawab atas pembinaan seluruh jaringan jalan yang ada serta bertanggung jawab terhadap terselenggaranya pembangunan jalan tol di seluruh Indonesia.

Kementerian PUPR menugaskan Kepala Satuan Kerja Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak, diwakilkan oleh PPK Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak 3 yang merupakan pemilik proyek yang ditunjuk untuk mengawasi pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Paket 1C. Adapun total nilai kontrak untuk Paket Pekerjaan Konstruksi Pembangunan Jalan Tol Semarang Demak Paket 1C yaitu sebesar Rp.2.112.567.788.000,00 (dua triliun seratus dua belas milyar lima ratus enam puluh tujuh juta tujuh ratus delapan puluh delapan ribu rupiah). Lingkup pekerjaan kontrak tersebut adalah pekerjaan Kolam Retensi Terboyo, Kolam Retensi Sriwulan, Saluran Pembawa Sriwulan (1.500m), Rumah Pompa Terboyo, Rumah Pompa Sriwulan dan pekerjaan mekanikal serta elektrik.

Capping Beam

Capping beam merupakan suatu struktur pada bangunan yang berfungsi sebagai pengikat rangkaian *secant pile* yang tujuannya agar meratanya beban yang diterima oleh setiap *secant pile*. Dalam pelaksanaannya, metode pembuatan *bekisting* untuk *capping beam* memiliki dua metode, yaitu metode konvensional dan metode *knock down* [1]. *Capping Beam* adalah balok penutup konstruksi bagian bawah (turap, dinding penahan), selain sebagai penutup juga berfungsi sebagai balok pengunci konstruksi *sheet pile*.

Tahapan pada pekerjaan *capping beam* di lokasi Pekerjaan Konstruksi Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Paket 1C adalah (1) pemotongan *sheet pile*, (2) pemasangan *double canal*, (3) pemasangan papan kayu, (4) pembesian *capping beam*, (5) pemasangan *bekisting*, (6) pengecoran *capping beam*, dan (7) pembongkaran *bekisting*.

Sistem Pelelangan dan Kontrak

Pelelangan dalam proyek konstruksi adalah suatu sistem penawaran pekerjaan kepada Kontraktor untuk mendapatkan kesempatan mengajukan besarnya biaya pekerjaan dalam melaksanakan suatu pekerjaan. Pelelangan bertujuan untuk mendapatkan penawaran yang beragam yaitu suatu harga penawaran yang sesuai dengan pembangunan proyek yang dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan persyaratan dari proyek tersebut. Pada proses pelelangan pekerjaan melibatkan dua pihak, pihak pertama sebagai pemberi tugas dan pihak kedua sebagai Kontraktor.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus deskriptif analitis dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif berbasis pengamatan lapangan secara langsung (*field observation*). Data penelitian dikumpulkan selama pelaksanaan praktik kerja lapangan pada Proyek Pembangunan

Jalan Tol Semarang – Demak Paket 1C, dengan fokus pengamatan khusus pada pekerjaan galian tanah, pemancangan CCSP, dan pengecoran *capping beam*.

Prosedur pengujian mutu material dan hasil kerja dilakukan dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yang relevan, mencakup pengujian kepadatan tanah dasar melalui uji *California Bearing Ratio* (CBR) lapangan (SNI 1738:2011), pengujian mutu beton keras CCSP menggunakan *rebound hammer test* (SNI 6680:2016), pengujian tingkat kekentalan beton segar melalui *slump test* (SNI 1972:2008), serta pengujian kekuatan tekan hancur silinder beton *capping beam* (SNI 1974:2011) di laboratorium.

Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Survey dan Pekerjaan Tanah

Sebelum memulai pekerjaan fisik konstruksi, tim surveyor melakukan pengukuran batas lahan (*stake out*) menggunakan instrumen *Total Station* dan menetapkan titik acuan level (*Bench Mark* / BM utama) yang ditandai dengan segitiga terbalik berwarna merah di lapangan. Langkah dasar ini sangat krusial untuk memastikan bahwa seluruh bangunan infrastruktur yang didirikan tidak melanggar batas lahan kontrak dan memiliki level elevasi yang presisi sesuai gambar rencana.

Setelah pengukuran selesai, dilakukan pekerjaan tanah yang meliputi penggalian galian struktur menggunakan alat berat *excavator*, pembuangan tanah yang tidak memenuhi syarat (*unsuitable material*) ke *disposal area* menggunakan *dump truck*, serta pemadatan tanah dasar di lokasi *stockyard* CCSP menggunakan *Roller Compactor*. Daya dukung tanah dasar di area *stockyard* harus dipastikan sangat tinggi karena akan menopang tumpukan material beton pracetak CCSP yang berat serta pergerakan dinamis dari *Crawler Crane* pemancang tiang. Oleh karena itu, dilakukan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) lapangan mengacu pada SNI 1738:2011.

Beban reaksi pengujian diperoleh dengan memanfaatkan truk trailer pengangkut *sheet pile* dan *dump truck*. Berdasarkan spesifikasi teknis proyek, nilai CBR lapangan rencana yang harus dipenuhi minimal sebesar 18%. Pengujian ini sangat krusial untuk menghindari terjadinya penurunan tanah lokal (*differential settlement*) yang dapat menyebabkan material CCSP retak atau patah sebelum dipancang.

Pemancangan CCSP

Material penahan tanah yang digunakan adalah *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) tipe W-325 klas B dengan panjang 18 meter yang diproduksi oleh produsen beton pracetak terkemuka dan dikirim ke area *stockyard* pada malam hari. Alat berat utama yang dioperasikan dalam proses pemancangan terdiri dari *Crawler Crane* kapasitas 100 ton sebagai pengangkat tiang, *Vibro Hammer* sebagai penyuplai energi getaran lateral, serta Generator Set (*Genset*) sebagai sumber daya listrik utama.

Sebelum pemancangan dimulai, dilakukan pemasangan *guide beam* baja yang dijepit kuat di dasar galian struktur. Pemasangan *guide beam* ini bertujuan sebagai alat bantu pelurus jalannya tiang pancang agar CCSP berdiri tegak lurus dan sejajar secara konsisten, di mana pada kondisi lapangan satu set *guide beam* mampu mengarahkan 9 batang CCSP sekaligus.

Proses pemancangan diawali dengan pengangkatan CCSP secara perlahan menggunakan kawat baja (*sling*) *Crawler Crane*. Setelah posisi tiang tegak lurus pada titik koordinat rencana, *Vibro Hammer* yang terpasang di kepala CCSP digetarkan. Getaran frekuensi tinggi dari *Vibro Hammer* ditransmisikan ke tiang pancang, menyebabkan partikel tanah lunak di sekeliling tiang menjadi gembur sehingga menurunkan resistensi geser selimut tiang secara drastis [3]. Tiang pancang akhirnya dapat meluncur masuk menembus tanah dengan mulus hingga mencapai elevasi penetrasi maksimum sesuai seperti yang direncanakan.

Metode Konstruksi Capping Beam

Setelah rangkaian CCSP terpancang dengan rapi dan rapat membentuk dinding kedap air kolam retensi, pengerjaan struktur *capping beam* selebar 600 mm dilaksanakan melalui tujuh tahapan metode kerja sistematis sebagai berikut:

1. Pemotongan Sheet Pile

Kepala CCSP dibobok secara manual menggunakan peralatan tukang seperti gurinda, palu godam, pahat, dan sikat kawat. Pembobokan dilakukan hingga mencapai batas potongan (*cut-off level*) rencana yang telah ditandai (*marking*) oleh surveyor. Proses pembobokan ini bertujuan untuk mengekspos tulangan utama baja CCSP sepanjang kurang lebih 1 meter agar nantinya dapat diikatkan secara monolit ke dalam pembesian *capping beam*, serta menyisakan permukaan beton yang bersih dan kasar guna menjamin kerekatan mekanis yang kuat antara beton lama dan beton baru.

2. Pemasangan Double Canal

Double Canal C.200.75.20 dipasang secara horizontal menjepit tubuh *sheet pile* di bawah elevasi dasar *capping beam*. Untuk menjaga kestabilan jepitan, dipasang pengaku dari kayu ukuran 50/70 setiap jarak 1 meter. Profil baja tersebut dikencangkan menggunakan *tie rod* berdiameter 16 mm yang menembus celah antar *sheet pile* dan dikunci rapat memakai baut kuping (*wingnut*). Pemasangan *double canal* ini berfungsi sebagai elemen penahan lateral rangkaian CCSP sekaligus sebagai tumpuan struktural utama penyangga bekisting kayu di atasnya.

3. Pemasangan Papan Kayu

Di atas *double canal* yang telah terpasang kokoh, diletakkan balok kayu kaso ukuran 50/70 sebagai pasak dan papan kayu dengan ketebalan 25 mm sebagai alas dasar cetakan *capping beam*. Pemasangan papan kayu ini harus disesuaikan dengan lekukan profil CCSP di lapangan guna mencegah kebocoran pasta semen basah (*cement slurry*) pada saat pengecoran berlangsung.

4. Pembesian Capping Beam

Perakitan tulangan baja dilakukan langsung di atas alas papan kayu dengan mengikatkan tulangan baru ke tulangan kepala CCSP. Pembesian *capping beam* pada proyek ini menggunakan konfigurasi tulangan utama baja ulir berdiameter D19 dan tulangan sengkang baja polos berdiameter D10 dengan jarak kerapatan antar sengkang sebesar 100 mm (D10-100). Kawat bendrat digunakan untuk mengikat seluruh persilangan tulangan secara kuat guna mencegah pergeseran tulangan akibat tekanan dinamis aliran beton basah.

5. Pemasangan Bekisting

Bekisting dinding samping dirakit menggunakan panel cetakan dinding baja (*steel panel formwork*). Guna menahan tekanan hidrostatik beton basah agar bekisting tidak mengalami defleksi atau pecah, dipasang hollow baja ukuran 40/40 dan pengaku bawah menggunakan *tie rod* berdiameter 10 mm. Sebelum pengecoran, bagian dalam bekisting diolesi minyak pelumas bekisting untuk mempermudah pelepasan panel beton setelah mengeras.

6. Pengecoran Capping Beam

Sebelum adukan beton dituang, tim kontraktor bersama konsultan pengawas melaksanakan inspeksi bersama menggunakan lembar checklist *capping beam*. Checklist tersebut memverifikasi ketepatan elevasi, kelurusan garis as, kebersihan bagian dalam cetakan dari kotoran atau lumpur galian, serta jarak selimut beton (*concrete cover*). Setelah izin pengecoran disetujui, adukan beton ready-mix bermutu tinggi dikirim menggunakan *Truck Mixer* dari batching plant. Sebelum dituang, pengujian nilai slump wajib dilakukan menggunakan kerucut abrams sesuai standar SNI 1972:2008. Nilai slump rencana ditetapkan sebesar $10 \pm$ cm (rentang toleransi 8-12 cm). Adukan beton dituang ke dalam cetakan dan dipadatkan secara merata menggunakan alat penggetar mekanis (*concrete vibrator*) secara perlahan guna membuang rongga udara terperangkap dan mencegah terjadinya cacat keropos (*honeycombing*) di dalam beton.

7. Pembongkaran Bekisting

Pelepasan bekisting panel dinding samping diperbolehkan setelah beton berumur minimal 8 jam pasca-pengecoran untuk dapat langsung digunakan kembali pada segmen pengerjaan berikutnya. Namun, satu set bekisting utuh beserta penyangganya baru diizinkan untuk dibongkar secara keseluruhan setelah beton berumur minimal 24 jam. Setelah bekisting dilepas, dilakukan perawatan beton (*curing*) dengan membasahi permukaan beton secara rutin atau menutupinya menggunakan karung goni basah selama minimal 7 hari guna menjaga hidrasi semen berlangsung sempurna dan meminimalkan retak susut termal.

Hasil Pengujian Lapangan dan Laboratorium

Pengujian di lapangan dan laboratorium berfungsi untuk pelaksanaan dan pemantauan pengujian bahan dan hasil pekerjaan konstruksi serta evaluasi terhadap hasil pengujian dan penyiapan rencana kerja pengendalian dan pengawasan serta pemanfaatan sumber daya konstruksi pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket 1C.

Pengujian pertama adalah Hammer test. Hammer test adalah salah satu pengujian beton yang berfungsi untuk mengukur nilai mutu pada struktur beton yang sudah mengeras. Pengujian ini termasuk dalam jajaran pengujian NDT (non destructive test) yang mana pengujiannya tidak merusak material yang diuji. Cara pengujian hammer ini yaitu secara sederhana, Rebound Hammer bekerja dengan melontarkan pemukul (hammer) yang terdapat pada alat tersebut. Kemudian, hammer dilepaskan oleh pegas (spring) yang memiliki kekakuan pegas tertentu. Sesuai SNI 6680:2016 jumlah pukulan hammer pada satu benda uji adalah 10 titik dengan jarak antar titik 25 mm. Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui mutu beton material CCSP yaitu f'_c 62 Mpa.

Selanjutnya adalah pengujian California Bearing Ratio (CBR). CBR (California Bearing Ratio) merupakan perbandingan antara tegangan penetrasi suatu lapisan/bahan tanah atau perkerasan terhadap tegangan penerasi bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama (dinyatakan dalam persen). CBR lapangan adalah nilai CBR yang diperoleh langsung di tempat (di lapangan). Pengujian CBR pada Paket Pekerjaan Konstruksi Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak 1C ini dilakukan di lapangan pada tanah yang sudah dipadatkan oleh roller compactor sebagai tempat untuk meletakkan material CCSP (stockyard). Sesuai dengan lokasinya sebagai stockyard, data CBR digunakan untuk menentukan kapasitas pembebanan rata-rata yang dapat dipikul oleh suatu tanah untuk menahan beban material CCSP beserta alat beratnya. Nilai CBR rencana yang harus dipenuhi adalah 18%.

Kemudian pengujian dilanjutkan dengan slump test. Nilai slump rencana ditetapkan sebesar 10 ± 2 cm (rentang toleransi 8-12 cm). Adukan beton dituang ke dalam cetakan dan dipadatkan secara merata menggunakan alat penggetar mekanis (*concrete vibrator*) secara perlahan guna membuang rongga udara terperangkap dan mencegah terjadinya cacat keropos (*honeycombing*) di dalam beton.

Selanjutnya adalah uji kuat tekan beton. Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh alat uji tekan. Mutu beton yang digunakan untuk pembuatan Capping Beam yaitu f'_c 35 MPa dan setelah melakukan uji tekan pada hari ke 28 didapatkan hasil gaya atau beban (P) = 726 kN.

Hasil analisis membuktikan bahwa nilai kuat tekan aktual beton *capping beam* sebesar 41,08 MPa telah melampaui kekuatan batas rencana sebesar 35 MPa dengan margin surplus kekuatan sebesar 17,37%. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas campuran beton basah dari batching plant berada dalam kondisi sangat prima dan mampu memberikan kapasitas dukung struktural jangka panjang yang sangat andal.

Tabel 1. Hasil Pengujian Mutu Material dan Pekerjaan Lapangan

Jenis Pengujian	Standar Pengujian	Lokasi / Benda Uji	Spesifikasi Rencana	Hasil Pengujian	Status Kelayakan
Kepadatan Tanah (CBR Lapangan)	SNI 1738:2011	Tanah dasar pemadatan <i>stockyard</i> CCSP	Minimal 18%	18,50% - 19,20%	Lulus (Memenuhi)
Kekerasan Beton Keras (<i>Hammer Test</i>)	SNI 6680:2016	Struktur beton keras tiang pancang CCSP	Mutu desain f'_c 62 MPa	Rata-rata $\geq$ 62 MPa	Lulus (Memenuhi)
Kekentalan Beton Segar (<i>Slump Test</i>)	SNI 1972:2008	Beton basah <i>capping beam</i> f'_c 35 MPa	10 $\pm$ 2 cm (Rentang 8-12 cm)	11,80 cm	Lulus (Memenuhi)
Kuat Tekan Beton Silinder (28 Hari)	SNI 1974:2011	Sampel silinder 150x mm <i>capping beam</i>	Minimal 35 MPa	41,08 MPa (P = 726 kN)	Lulus (Memenuhi)

Analisis Kendala dan Solusi

Kendala pertama adalah terjadinya kelongsoran tanah pada galian pemancangan CCSP pada STA (6+575 – 6+675) sehingga pekerjaan pemancangan CCSP tertunda maka slope kemiringan dari galian harus diperlebar. Solusi untuk kendala ini adalah dilakukan metode pemasangan cerucuk bambu yang nantinya berfungsi sebagai penahan tanah, dan untuk slope kemiringan galian dilakukan pelebaran. Pelebaran sudut kemiringan lereng galian (*slope flattening*) berfungsi untuk mengurangi gaya penggerak longsor.

Sebagai perkuatan struktural penahan tanah darurat, dipasang sistem cerucuk bambu dengan jarak kerapatan antar bambu sebesar 0,5 meter. Analisis stabilitas geoteknis membuktikan bahwa pemasangan cerucuk bambu ini mampu meningkatkan faktor keamanan lereng secara drastis dari kondisi labil menjadi stabil dengan $SF \geq 1,5$ [4]. Secara mekanis, cerucuk bambu berfungsi sebagai tiang mikro (*micro-piles*) yang mentransfer beban lateral tanah ke lapisan tanah dasar yang memiliki daya dukung lebih tinggi [5]. Selain itu, jalinan serat bambu yang rapat berfungsi menyerap sebagian tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) di dalam tanah lunak, mempercepat proses konsolidasi tanah dasar, dan meningkatkan kekuatan geser kempa (*shear strength*) tanah di sepanjang bidang longsor potensial [5].

Kendala kedua adalah terjadinya rembesan air pada galian *capping beam* pada sta (6+575 – 6+675) sehingga memperlambat proses pekerjaan *capping beam*. Permasalahan rembesan air paling sering terjadi karena lokasi pekerjaan merupakan daerah pesisir laut. Solusi untuk permasalahan pada rembesan air ini adalah dilakukan proses dewatering untuk menguras rembesan air. Genangan air di dalam cetakan bekisting sangat berbahaya karena dapat mencuci kandungan pasta semen pada beton basah (*cement wash-out*), mengencerkan rasio air-semen secara tidak terkontrol, dan memicu proses korosi dini pada tulangan baja akibat kandungan klorida tinggi air laut.

Solusi yang diterapkan untuk kendala rembesan air adalah proses pengurasan air aktif (*dewatering*) secara terus-menerus menggunakan pompa hisap *submersible* berkapasitas tinggi. Air yang merembes dialirkan ke bak penampung sementara (*sump pit*) lalu dipompa keluar menuju saluran pembuang eksternal [6]. Proses *dewatering* ini berhasil menurunkan tekanan hidrostatik air tanah lokal dan menciptakan kondisi dasar galian (*dry working space*) yang kering sempurna [6]. Hal

ini menjamin proses perakitan tulangan, pemasangan bekisting, hingga pengecoran beton berjalan dengan aman dan bebas dari kontaminasi klorida air laut.

Kesimpulan

Berlandaskan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka kesimpulan yang dapat ditarik adalah bahwa metode kerja pelaksanaan konstruksi *capping beam* selebar 600 mm pada Paket 1C dilaksanakan melalui tujuh tahapan teknis terintegrasi yang dimulai dari pemotongan kepala *sheet pile* hingga batas elevasi rencana, pemasangan *double canal* C.200.75.20, pemasangan cetakan kayu dasar tebal 25 mm, perakitan tulangan baja utama D19 dan sengkang D10-100, pemasangan bekisting dinding panel baja dengan pengunci hollow 40/40, pengecoran beton mutu f'_c 35 MPa, hingga perawatan beton pasca-pembongkaran bekisting. Seluruh tahapan tersebut terbukti efektif mengunci barisan tiang CCSP menjadi struktur penahan tanah yang monolit.

Pengendalian mutu material memenuhi seluruh parameter spesifikasi teknis rencana, ditunjukkan oleh pencapaian nilai uji CBR lapangan di area *stockyard* sebesar $\geq 18\%$ (SNI 1738:2011), uji slump beton segar sebesar 11,80 cm yang berada pada rentang pengerjaan optimal (SNI 1972:2008), serta hasil uji kuat tekan aksial silinder beton hancur umur 28 hari mencapai kekuatan aktual 41,08 MPa (SNI 1974:2011) yang melampaui kekuatan rencana sebesar 17,37%. Kemudian, permasalahan kelongsoran galian tanah terbuka pada area kritis STA 6+575 hingga 6+675 diatasi secara tuntas melalui kombinasi pelebaran lereng galian dan pemasangan struktur cerucuk bambu dengan jarak 0,5 meter sebagai tiang mikro penahan gaya geser tanah aktif. Sementara itu, kendala rembesan air laut diatasi dengan metode pengurasan air aktif (*dewatering*) untuk menjamin proses pengecoran beton basah berjalan di atas dasar galian yang kering.

Referensi

- [1] Purba, J. M. (2022). Laporan Kerja Praktek Proyek Pembangunan Gedung Menara Bank BRI Medan. *LKP Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Medan Area*.
- [2] Pradnyana, M. Y. (2024). Perbandingan Pelelangan Manual dan Pelelangan E-Procurement pada Vendor Proyek Risha Kupang PT Brantas Abipraya. https://insight.brantas-abipraya.co.id/web/content/766?unique=74ea2698dc7e6f16a188aa97f5a2e3f0d4ebed2c&download=true&access_token=97b4a928-5c9f-42b8-9b04-d1c419a7adee
- [3] Irianto, D., dan Wesesa, D. W. (n.d.). Pemancangan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) Pada Proyek Wonokromo River Improvement Surabaya Sub Project Package-3. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/download/11145/4338/14513>
- [4] Al Mukarom, S., dan Astuti, M. D. (2023). ANALISA GEOTEKNIK PADA TANAH LUNAK PADA LONGSORAN TANGGUL SUNGAI TUNTANG. *JTI: Jurnal Teknik Indonesia*, 4(2). Doi: <https://doi.org/10.61689/jti.v4i2.492>
- [5] Lestari, M. I., Manoppo, F. J., dan Rondowunu, S. (2018). Analisis Kestabilan Tanah Timbunan (Embankment) Pada Tanah Rawa Dengan Menggunakan Bambu (Studi Kasus: Jalan Toll Manado-Bitung). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 8(2). <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/26440>
- [6] Leonardo-Gan, S. J. (2024). RETAINING WALL DESIGN ANALYSIS OF PROJECT NOVOTEL HOTEL BSD. *Skripsi Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*. https://repository.uajy.ac.id/id/eprint/34316/3/201318039_Bab%202.pdf