

# Manajemen Pelaksanaan Konstruksi Pembangunan Tunnel pada Inlet Sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur

Putri Wulandari, Ismail Sa'ud, dan Dwi Indriyani

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* ismailsaud.its@gmail.com

**Abstrak**—Pembangunan Sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur (KBT) yang memiliki Panjang 582 m dengan diameter 3.5 m. Metode yang digunakan dalam melaksanakan pembangunan tunnel menggunakan metode *Micro Tunneling* dan *Pipe Jacking*. *MicroTunneling* adalah metode konstruksi pembangunan yang menggunakan mesin bor MTBM (*MicroTunnel Boring Machines*) yang dikombinasikan dengan teknik *Pipe Jacking*, yang memiliki fungsi sebagai pembangun terowongan dengan dimensi 4 m, penelitian ini berfokus pada metode pelaksanaan dan Analisis durasi serta biaya pekerjaan *microtunneling* dan *pipe Jacking* pada proyek Pembangunan Sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur. Biaya pelaksanaan dihitung berdasarkan analisis yang sesuai antara literatur yang digunakan maupun peraturan yang berlaku untuk mendapatkan kesesuaian dengan kondisi pelaksanaan lapangan. Sedangkan pada perhitungan waktu pelaksanaan dilakukan analisis mulai dari kapasitas produksi, produktivitas, durasi dan penyusunan jadwal setiap pekerjaan di mana hal ini dilakukan dengan menggunakan alat bantu *Microsoft Project*. Berdasarkan hasil Analisis perhitungan pada proyek Pembangunan Sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur diketahui bahwa total durasi yang didapatkan selama 286 hari dengan total biaya, yaitu Rp88.599.145.500,00.

**Kata Kunci**—Metode Pelaksanaan, Konstruksi, *Pipe Jacking*, Tunnel, Inlet.

## I. PENDAHULUAN

BANJIR merupakan peristiwa yang sering terjadi di DKI Jakarta, khususnya daerah aliran Sungai Ciliwung, hal tersebut disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Adanya penyempitan aliran sungai oleh padatnya pemukiman di bantaran sungai, yang mengakibatkan kapasitas debit aliran Sungai Ciliwung lebih kecil daripada debit banjir. Mengingat permasalahan tersebut dapat merusak tanggul, pintu air, fasilitas umum, serta kerugian besar yang harus dialami warga Jakarta sedikitnya mencapai Rp9,8 triliun pada tahun 2002.

Karena itu, sangat perlunya penanganan dari pemerintah untuk memperbaiki permasalahan banjir yang terjadi, sebagai upaya memaksimalkan daya tampung saluran maka dibuatlah sudetan. Pada pembangunan ini Kementerian Pekerjaan Umum Dirjen Sumber Daya Air memutuskan pengalihkan debit banjir Kali Ciliwung ke KBT (Kanal Banjir Timur) melalui Sungai Cipinang yang dapat mengalirkan debit aliran air sebesar 60 m<sup>3</sup>/detik dengan melawati jalan sepanjang Jl. Otto Iskandar Dinata 3 dengan panjang sudetan +1.25 km. Mengingat daerah sepanjang Sungai Ciliwung menuju Kanal banjir Timur harus melintasi pemukiman dan pusat perekonomian yang padat. Maka dibuatlah saluran tertutup atau Tunnel.

Dalam proyek pembangunan tidak luput dengan suatu keberhasilan, salah satu keberhasilan dalam suatu proyek,

yaitu terdapat pada manajemen konstruksi karena dari manajemen konstruksi dapat merencanakan, melaksanakan, dan menerapkan pembangunan secara sistematis. Dan tolak ukur dalam keberhasilan suatu manajemen konstruksi, yaitu mampu mengontrol kualitas, biaya dan waktu.

Menurut H. Kurzner (1982) Manajemen Konstruksi adalah merencanakan, menyusun organisasi, memimpin dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Sumber daya untuk konstruksi yang dimaksud, yaitu *manpower* (tenaga kerja), *machiners* (alat dan peralatan), *material* (bahan bangunan), *money* (uang), *method* (metode).

Metode *MicroTunneling* dan *Pipe Jacking*, yaitu proses pemasangan pipa beton di bawah permukaan jalan dengan melakukan pengeboran menggunakan mesin TBM (*Tunnel Boring Machine*) lalu didorong menggunakan tekanan hidrolik. Metode ini dinilai lebih mudah, ramah lingkungan, dan sesuai yang dibutuhkan dengan kondisi daerah yang padat penduduk dan ramai akan aktivitas masyarakat. Pada penelitian ini akan menggunakan tambahan alat, yaitu *Belt Conveyor* sebagai alat pembantu untuk mengeluarkan lumpur, dalam pelaksanaan pekerjaan pengeboran. Dengan mempertimbangkan manajemen konstruksi maka akan dilanjutkan dengan menganalisis biaya dan waktu.

Metode untuk menyusun jadwal pekerjaan yang digunakan pada proyek ini menggunakan *Network planning* dan kurva S. *Network planning* adalah sebuah cara atau teknik yang berbentuk diagram *network* yang membantu dalam perencanaan dan penjadwalan sebuah pekerjaan. *Network planning* berfungsi untuk mengetahui pekerjaan apa saja yang termasuk dalam lintasan kritis harus diutamakan pelaksanaannya. Oleh karena itu, dalam membuat penjadwalan menggunakan alat bantu berupa program *Microsoft Project*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tunnel

Terowongan (*tunnel*) adalah sebuah tembusan di permukaan tanah atau gunung. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. *Tunnel* direncanakan dan didesain untuk menyediakan penyimpanan sementara untuk aliran banjir dan *sewage system* yang tidak mampu dialirkan secara bersamaan dalam suatu badan air guna mengurangi debit puncak banjir di hilir [1].

### B. *MicroTunneling* dan *Pipe Jacking*

*MicroTunneling* adalah metode konstruksi pembangunan yang menggunakan mesin bor MTBM (*MicroTunnel Boring Machines*) yang dikombinasikan dengan teknik *Pipe Jacking*

yang memiliki fungsi sebagai pembangun terowongan dengan dimensi kecil yang menggunakan mesin MTBM (*MicroTunnel BoRing Machines*) yang dikombinasikan dengan *Pipe Jacking*.

Metode galian terbuka untuk pemasangan jaringan utilitas dalam pelaksanaannya memiliki beberapa kekurangan seperti penutupan sebagian badan jalan, derajat kejenuhan meningkat, polusi suara, dan gangguan bagi lingkungan sekitar. Demi menghindari gangguan tersebut maka dibutuhkan metode instalasi perpipaan dengan metode tanpa galian terbuka sepanjang jalur pipa, yaitu metode *MicroTunneling* dan *Pipe Jacking* [2].

### C. *MicroTunnel Boring Machine (MTBM)*

MTBM dapat disebut juga dengan mesin terowongan, yang dapat dikemukakan yang mencapai penggalian tanah melalui roda pemotong yang berputar. MTBM dimajukan dengan *Jacking hidrolis* dari rangkaian pipa beton di belakang mesin dari poros peluncuran. Partikel tanah yang digali dikembalikan ke permukaan melalui pipa atau sistem konveyor. Terdapat dua jenis MTBM, yaitu *Rock TBM* dan *Shield TBM*.

*Rock TBM* merujuk pada mesin untuk mengebor terowongan di batuan keras dengan kepala pemotong (*cutterhead*) melingkar yang dilengkapi dengan pemotong cakram (*disk cutter*). Batu dipotong dengan menekan permukaan batuan oleh *disk cutter* dan dengan memutar *Cutterhead*.

*Shield TBM* dengan segmental lining merujuk pada mesin untuk mengebor terowongan di tanah lunak dengan dan dibawah permukaan air sehingga kepala pemotong (*cutterhead*) cukup dilengkapi dengan alat pengikis (*scraper*) dan penggaruk (*ripper*). Untuk melawan tekanan tanah aktif dan tekanan air, mesin *Shield TBM* dilengkapi dengan system tekanan udara atau *slurry* atau tanah yang diberi tekanan. Pemilihan material tekanan tersebut tergantung pada jenis tanah yang dihadapi. *Shield TBM* dengan tekanan udara (*compressed air*) digunakan pada tanah pasir (*fine sand*). Namun dikarenakan sulitnya mengontrol tekanan udara yang sesuai, mesin jenis ini jarang digunakan. *Shield TBM* dengan *slurry* atau disebut dengan *Slurry Shield* digunakan pada tanah non kohesif dari lanau hingga batuan (*coarse silt-Gravel*). *Shield TBM* dengan tanah hasil galian yang diberi bertekanan atau disebut dengan *Earth Pressure Balance Machine* (EPBM) digunakan pada tanah kohesif lempung hingga non kohesif pasir (*Clay – coarse sand*). EPBM dapat digunakan di tipe tanah yang lebih beragam terutama dengan bantuan material *additive* berupa *foam* atau *gel*.

### D. *Work Breakdown Structure (WBS)*

*Work Breakdown Structure (WBS)* adalah metode pengorganisasian proyek secara struktural melalui pelaporan berbentuk hierarkis. WBS bekerja sebagai sebuah struktur untuk memecahkan proses pengerjaan proyek secara bertahap pada tiap detailnya. Manfaat dari WBS, yaitu digunakan dalam berbagai proyek, program, dan inisiatif lainnya untuk memahami target yang harus dicapai perusahaan. Selain itu, metode kerja satu ini memiliki sejumlah manfaat lainnya yang dapat menguntungkan pekerja.

### E. *Perhitungan Rencana Anggaran Biaya*

Dalam proyek pembangunan terdapat hal penting salah

satunya, yaitu biaya. Dalam pelaksanaan suatu konstruksi, biaya konstruksi memiliki unsur utama dan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam kegiatan pengendalian, unsur utama dari biaya konstruksi adalah biaya material, biaya upah dan biaya alat. Hal tersebut akhirnya akan menyangkut masalah penerimaan dan pengeluaran keuangan [3]. Biaya dibagi menjadi dua macam, yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*).

Biaya langsung (*direct cost*) adalah biaya yang timbul dan berhubungan langsung dengan aktivitas proyek yang sedang berjalan. Biaya langsung meliputi biaya bahan dan material, biaya upah, biaya alat, dan biaya sub-kontraktor.

Biaya tidak langsung (*indirect cost*) adalah biaya yang diperlukan untuk setiap kegiatan proyek, tetapi tidak berhubungan langsung dengan kegiatan yang bersangkutan dan dihitung pada awal proyek sampai akhir proyek. Bila pelaksanaan akhir proyek mundur dari waktu yang sudah direncanakan maka biaya 39 yang tidak langsung ini akan menjadi besar, sedangkan jumlah pekerjaan dan nilai kontrak tetap, sehingga keuntungan kontraktor akan berkurang bahkan untuk kondisi tertentu akan mengalami kerugian. Biaya tidak langsung meliputi biaya *overhead* (biaya operasional), gaji pegawai, biaya tak terduga, keuntungan.

Perhitungan biaya suatu pekerjaan dipengaruhi oleh produktivitas alat berat, karena hal tersebut juga berpengaruh dalam perhitungan durasi pekerjaan. Perhitungan produktivitas alat dapat ditung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = q \times N \times E = q \times \left( \frac{60}{\text{cycle time}} \right) \times E$$

dengan  $Q$  adalah produksi per jam dari alat yang digunakan ( $\text{m}^3/\text{jam}$ ),  $q$  adalah kapasitas alat per siklus ( $\text{m}^3$ ),  $N$  adalah jumlah siklus dalam satu jam, dan  $E$  adalah efisiensi kerja. Perhitungan *cycle time* dalam menit.

Dalam setiap pekerjaannya, waktu yang dibutuhkan suatu alat berat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Cycle Time (Menit)} = LT + HT + RT + DT + ST$$

dengan  $LT$  adalah waktu muat (*loading time*),  $HT$  adalah waktu angkut (*houling time*),  $RT$  adalah waktu kembali (*return time*),  $DT$  adalah waktu bongkar (*dumping time*), dan  $ST$  adalah waktu tunggu (*spotting time*).

Biaya alat berat dipengaruhi oleh harga sewa dan durasi pemakaian alat berat tersebut. Rumus perhitungan biaya alat berat adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Alat Berat} = \text{Durasi} \times \text{Harga Sewa Jumlah Alat}$$

Perhitungan anggaran biaya material berdasarkan pada daftar yang telah dibuat oleh *Quantity Surveyor*. Pembuatan daftar harga bahan material memakai harga bahan material sesuai dengan tempat proyek. Rumus perhitungan biaya material adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Material} = \text{Volume} \times \text{Harga}$$

## III. METODE PENELITIAN

Uraian metodologi yang digunakan sebagai pembahasan permasalahan penelitian ini adalah sebagai berikut:

### A. *Studi Literatur*

Studi literatur harus dilakukan dalam suatu penelitian dikarenakan digunakan sebagai acuan. Literatur yang diguna-

kan bersumber dari jurnal, buku terkait manajemen konstruksi, dan peraturan pemerintah.

### B. Pengumpulan Data

Data yang diambil dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui observasi secara langsung di lapangan berupa data upah pekerja, harga material, harga sewa alat, dan spesifikasi alat. Sedangkan data sekunder dalam penelitian ini, yaitu Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) dan HSPK Jakarta tahun 2021.

### C. Pengolahan Data

Data-data yang telah diperoleh kemudian diolah agar dapat mencapai tujuan penelitian ini. Adapun tahapan dari pengolahan data adalah sebagai berikut: (1) Menentukan jenis atau item pekerjaan, (2) menghitung volume pekerjaan persiapan hingga *pipe jacking*, (3) menyusun metode pelaksanaan dan K3, (4) menghitung produktivitas, (5) menghitung biaya pekerjaan, dan (6) menghitung waktu pekerjaan.

### D. Analisis Data

#### 1) Menentukan Item Pekerjaan

Dalam mengerjakan penelitian ini, digunakan item pekerjaan untuk pembangunan *tunnel*. Adapun tahap-tahap pelaksanaan, dengan menggunakan metode *Micro Tunneling* dan *Pipe Jacking*. Tahapan utama metode *Micro Tunneling* dan *Pipe Jacking*, yaitu (1) pembuatan *driving shaft* dan *arriving shaft*, (2) pemasangan alat *Micro Tunneling* dan *Pipe Jacking*, (3) pekerjaan *Pipe Jacking*, dan (4) pelepasan mesin TBM dan material *Pipe Jacking*.

#### 2) Menentukan Metode Pelaksanaan

Dari hasil perhitungan volume untuk tiap item pekerjaan akan kemudian menyusun metode pelaksanaan. Metode pelaksanaan dibuat berdasarkan sumber daya yang dibutuhkan seperti material, alat yang digunakan, jumlah pekerja. Serta melakukan pengendalian mutu sebelum memulai pekerjaan agar sesuai dengan persyaratan dan perencanaan kerja. Kemudian merencanakan aspek K3 seperti panduan kerja yang aman, pemasangan rambu-rambu K3, dan alat pelindung diri yang wajib dikenakan pekerja saat berada di area konstruksi.

#### 3) Menghitung Volume

Pekerjaan Perhitungan volume untuk setiap item pekerjaan ditinjau berdasarkan gambar kerja proyek. Perhitungan volume digunakan untuk perhitungan produktivitas tenaga dan alat berat, dan juga rencana anggaran biaya.

#### 4) Menghitung Durasi Pekerjaan

Dalam pengerjaan proyek pembangunan *tunnel* pada proyek pembangunan Sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur, perhitungan durasi untuk setiap item pekerjaan dibuat berdasarkan Kebutuhan material, Analisis jumlah pekerja dan Produktivitas alat. Adapun alat bantu yang digunakan untuk menghitung durasi pekerjaan adalah dengan menggunakan program *Microsoft Project* untuk menyusun *network planning*.

#### 5) Menghitung Anggaran Biaya Pelaksanaan

Perhitungan anggaran biaya pelaksanaan dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan HSPK Jakarta 2021 dan wawancara lapangan.

#### 6) Menyusun Penjadwalan Proyek

Penjadwalan dibuat dengan menggunakan program *Microsoft Project*. Diawali dengan membuat *bar chart* untuk mengetahui durasi tiap item pekerjaan kapan harus dimulai dan berakhir. Kemudian membuat *network planning* dengan tujuan merencanakan dan mengawasi pekerjaan khususnya yang berada di lintasan kritis agar seluruh pekerjaan dapat selesai tepat waktu. Kemudian menyusun kurva-s dengan menyiapkan data perhitungan biaya dan menghitung persentase bobot tiap pekerjaan dari awal hingga pekerjaan berakhir.

### E. Kesimpulan

Dari uraian di atas, akhirnya dapat diketahui metode pelaksanaan, waktu dan biaya yang digunakan untuk pembangunan *tunnel* pada pembangunan *inlet* sudetan kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Work Breakdown Structure (WBS)

*Work Breakdown Structure (WBS)* adalah salah satu elemen penting dalam perencanaan proyek. Dengan adanya struktur ini dapat menuliskan tahapan-tahapan proyek secara mendetail. Secara garis besar, melalui WBS dapat membuat jadwal, *budgeting*, hingga aktivitas apa saja yang harus dilakukan serta ruang lingkup di dalamnya.

### B. Metode Pelaksanaan

#### 1) Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan yang dilakukan pertama kali saat memulai pembangunan. Pada penelitian ini pekerjaan persiapan meliputi mobilisasi dan demobilisasi, pembersihan lahan, *uitzet* dengan *waterpass* atau *theodolite*, pembuatan *direksi keet*, pemasangan pagar proyek dan pembuatan papan nama proyek.

#### 2) Driving Shaft

Pekerjaan galian dilakukan di area *driving shaft*, pekerjaan ini bertujuan untuk pekerjaan yang dilaksanakan dengan membuat lubang di tanah membentuk kubus keperluan sebagai fondasi bangunan, dan utamanya sebagai tempat sementara untuk kegiatan pekerjaan *pipe jacking*, galian pada *driving shaft* memiliki dimensi panjang 14.7 m, Lebar 15.9 m dan Tinggi 13.5 m. Pembobokan dan pemotongan tulangan *secondary pile* sisi *tunnel wall* bertujuan untuk memberikan akses kepada alat EPBM (*Earth Pressure Balance Machines*) dan digunakan sebagai tempat *jacking* pipa beton, pembobokan dilakukan secara manual dengan dibantu alat *jack hummer*.

#### 3) Muck Pit

Pekerjaan galian juga dilakukan di *muck pit* pekerjaan yang dilaksanakan dengan membuat lubang di tanah membentuk kubus keperluan sebagai fondasi dan utamanya digunakan sebagai tempat pembuangan lumpur sementara. galian pada *muck pit* memiliki dimensi Panjang 8 m, lebar 6 m, dan tinggi 8 m. *Muck pit* berfungsi sebagai penampungan lumpur sementara dari proses pekerjaan pengeboran. *Muck pit* ini dibangun menggunakan perkuatan dari pancangan *Sheet Pile (SSP)*.

#### 4) Persiapan Pemasangan Alat Jacking

Pemasangan *thrust box* ditujukan sebagai *platform* untuk menyalurkan beban terpusat dari mesin *jacking* sebelum

beban tersebut disalurkan ke dinding *jacking wall* sebagai beban area, diangkat menggunakan *crawler crane* tipe CKS 1100 dengan kapasitas 110 T, *thrust box* memiliki lebar 4x4 m, cara pemasangannya, yaitu dengan diikat menggunakan 3 buah *level bock* dengan kekuatan 6 ton dan sisi setiap ujung dibor lalu dipasang baut tanam.

Pemasangan *guide rail* bertujuan sebagai jalur untuk mesin *pipe jacking* dan pipa beton. Pemasangan *guide rail* dengan cara dilas pada sisi bawah atau pada bagian H beam yang sudah tertanam pada bagian *base slab*, diatur menyesuaikan titik *thrust jack* dengan *tunnel*, *guide rail* diturunkan menggunakan *crawler crane* tipe CKS 1100 dengan kapasitas 110 T. Material dari *guide rail* ini, yaitu baja dengan tebal 400 mm dan Panjang 6.50 m.

*Frame* penahan pipa berfungsi sebagai penahan pipa saat proses *jacking*. Diangkat menggunakan *crawler crane* tipe CKS 1100 dengan kapasitas 110 T. Dengan di las pada *guide rail* dan dikunci menggunakan baut tanam pada *jacking wall*, dan penyambungan setiap *frame* dikunci dengan baut tanam lalu pada pendorongan pipa beton nomor 20 akan dilepas.

*Thrust jack* memiliki fungsi sebagai alat pendorong pipa dalam pekerjaan *pipe jacking* dengan 14 *thrust jack*, pertama dilakukan pemasangan *frame thrust jack* dengan dibaut dibagian bawah atau bagian H-Beam dalam struktur *driving shaft* dan diberi alat bantu penyangga pada bagian samping *frame*, setelah terpasang dapat dilanjut *setting thrust jack* dengan cara yang sama, yaitu dibaut tanam pada *frame*, Penurunan dibantu dengan *crawler crane* tipe CKS 1100 dengan kapasitas 110 T.

*Lubricant dan Injection plan* berfungsi sebagai alat penunjang dari EPBM, yaitu material pembantu untuk melunakkan tanah agar menjadi lumpur sehingga dapat memudahkan dalam pengeboran, penyaluran *lubricant* dan *injection plan* melalui pipa karet dengan 2 pipa karet dipasang di EPBM dan 1 pipa karet dipasang di pipa beton.

##### 5) *Persiapan Penurunan EPBM*

Sebelum dilakukan penurunan EPBM perlu dilakukan *running* mesin bersama. Jenis EPBM tersebut ialah rock TBM. Hal yang perlu di cek, yaitu putaran *cutter head*, oli Hidroulik, dan mekanika elektrik dan sebelum penurunan pemasangan baja ke pengait yang berguna sebagai alat pembantu penurunan EPBM.

Proses penurunan EPBM menggunakan *crawler crane* tipe ST-3600 dengan kapasitas 360 T. Tahapan dalam *install* EPBM terdapat pemasangan *push ring*, *fj ring*, dan *setting* EPBM menuju *tunnel*, aksesoris atau material sebagai penunjang *install* EPBM, dibantu menurunkannya menggunakan *crawler crane* tipe CKS 1100 dengan kapasitas 110 T.

##### 6) *Persiapan Pekerjaan Belt Conveyor*

*Belt conveyor* digunakan sebagai mobilisasi pengeluaran lumpur dari EPBM menuju luar *Tunnel*. Inovasi penggantian *belt conveyor* ini dikarenakan pada kondisi lapangan menggunakan selang besi untuk mengeluarkan lumpur, yang mengakibatkan terjadinya penyumbatan yang disebabkan oleh bebatuan yang menumpuk di dalamnya. Dengan adanya alat bantu *belt conveyor* diharapkan proses pengeluaran lumpur lancar dan dapat mengeluarkan lumpur 72 m<sup>3</sup>.

##### 7) *Persiapan Pipe Jacking*

Tahapan dalam *install* pipa beton tidak jauh berbeda

dengan EPBM terdapat pemasangan *Push Ring*, *Fj Ring*, dan *setting* selang ke alat EPBM, yang di mana selang tersebut sebagai distributor *injection*, dan *injection* tersebut dilakukan selama pengeboran berlangsung. Pada saat proses penurunan pipa beton menggunakan *crawler crane* tipe CKS 1100 dengan kapasitas 110 T. dalam proyek pembangunan *tunnel* pada Proyek Pembangunan Sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur ini membangun 2 terowongan dengan dimensi yang sama 4.05 m setiap terowongannya.

##### 8) *Persiapan Intermediate Jack*

*Intermediate jacking*, yaitu *pipe intermediate* yang terbuat dari baja yang berfungsi sebagai pembantu pendorongan pipa, dengan memiliki 20 *jack* di dalamnya dan dapat membantu pendorongan sejauh 30 cm.

##### 9) *Arriving Shaft*

Pembongkaran dilakukan untuk mempermudah proses *breakthrough* dari EPBM, pembongkaran ini dilakukan secara manual dengan cara pembobokan yang dibantu dengan alat *jack hammer*. Pemasangan *guide rail* bertujuan sebagai jalur dari EPBM ketika proses *breakthrough*, cara pemasangan *guide rail* pada *arriving* sama ketika pemasangan *guide rail* pada *driving shaft*, yaitu pemasangan *guide rail* dengan cara dilas pada sisi bawah atau pada bagian *h beam* yang sudah tertanam pada bagian *base slab*, *rail* diatur menyesuaikan titik EPBM keluar atau *tunnel*. penurunan *guide rail* dibantu menggunakan *crawler crane* 100 T, dengan R10,00 m. *Breakthrough* adalah proses EPBM menembus *secant pile arriving shaft*. Proses *breakthrough line* selatan dilakukan saat mesin EPBM sudah mendekati *arriving shaft*, setelah itu dimulai pekerjaan pembobokan *secant pile* dengan *jack hammer* dan dilanjutkan dengan penggalian tanah pada *tunnel* arah *inlet arriving shaft line* selatan. Dalam proses pekerjaan pembobokan dan penggalian *tunnel* arah *inlet*, mesin EPBM tidak boleh diaktifkan. *Jacking* tahap akhir dalam pekerjaan *pipe jacking* adalah pengangkatan mesin *jacking*, pengangkatan dilakukan menggunakan *crawler crane* tipe ST-3600 dengan kapasitas 360 T. R12,750 m, pengangkatan dilakukan dengan cara di EPBM diangkat dikit demi sedikit agar mempermudah EPBM diangkat ke atas, sebelum pengangkatan harus dipasang pengait baja di atas EPBM dengan cara dilas. Pemasangan *T-Collar* dilakukan di *arriving shaft* di mana fungsi dari *T-Collar*, yaitu untuk menghubungkan pipa dari *outlet* dan pipa dari *inlet*, pemasangan dibantu menggunakan *crawler crane* 100 T, dengan R10,00 m. Pemasangan pipa pelepas udara berfungsi sebagai pengontrol atau membatasi tekanan pada sebuah sistem, pipa pelepas udara diturunkan ke *arriving shaft* dan dipasang pada *T-Collar* menggunakan *crawler crane* 100 T, dengan R10,00 m. Pemasangan pipa Pelepas udara ini diletakkan di atas *T-Collar* dengan cara dibaut.

##### 10) *Persiapan Grouting*

Pekerjaan *grouting* digunakan sebagai proses sementasi untuk membuat tanah atau batuan menjadi lebih kuat. dan dilaksanakan setelah pekerjaan *pipe jacking*, pemasangan pipa *T-Collar* dan pipa pelepas udara selesai. Pekerjaan *grouting* dimulai dari *arriving shaft* menuju *driving shaft*, pekerjaan *grouting* dalam pipa ini dilaksanakan dengan cara penyemprotan semen yang telah diaduk menggunakan selang karet pada lubang sisi atas pipa beton jenis *grouting*, kemu-

dian disempotkan ke rongga luar pipa beton.

### C. Analisis Waktu dan Biaya

#### 1) Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan dalam proyek Pembangunan Sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur (KBT), yaitu meliputi pekerjaan pembersihan lahan, pekerjaan *uitzet*, pekerjaan pemasangan pagar dan nama proyek, dan pembuatan direksi *keet*. Total biaya dalam pekerjaan persiapan sebesar Rp215.237.032,00

#### 2) Perhitungan Driving Shaft

*Driving shaft* berada di *inlet* area sudetan yang digunakan sebagai tempat mulainya pengeboran dari inlet menuju *arriving shaft* dan sebagai tempat pekerjaan *pipe jacking*, data didapatkan dari gambar dan lapangan. Biaya keseluruhan pembobokan yang didapatkan, yaitu Rp22.150.525,00

#### 3) Perhitungan Muck Pit

*Muck Pit* berada di inlet area sudetan yang digunakan sebagai tempat pembuangan lumpur sementara, yang dibangun menggunakan SSP (*Steel Sheet Pile*). Data di dapatkan dari lapangan dan wawancara konsultan lapangan. Untuk biaya pemancangan SSP, yaitu Rp1.188.351.855,00

#### 4) Pekerjaan Galian

Kebutuhan tenaga kerja maksimal diperoleh dari koefisien AHSP 2022 sebagai berikut. Jam kerja dalam sehari menyesuaikan jam kerja proyek sebenarnya, yaitu 8 jam/hari. Untuk biaya galian *driving shaft*, yaitu Rp127.494.660,00

#### 5) Persiapan Pipe Jacking

*Thrust box* sebagai *platform* untuk menyalurkan beban terpusat dari mesin *jacking*. Jam kerja dalam sehari menyesuaikan jam kerja proyek sebenarnya, yaitu 8 jam/hari. Jam kerja dalam sehari menyesuaikan jam kerja proyek sebenarnya, yaitu 8 jam/hari. Jam kerja dalam sehari menyesuaikan jam kerja proyek sebenarnya, yaitu 8 jam/hari. Waktu pelaksanaan dalam pemasangan *guide rail* yang bersumber dari analisis lapangan atau *monitoring* harian didapatkan, yaitu 4 hari jam kerja untuk waktu pelaksanaan pemasangan *guide rail*. Sehingga biaya dari 2 terowongan, yaitu Rp11.830.672,00

#### 6) EPBM (*Earth Pressure Balance Machines*)

EPBM (*Earth Pressure Balance Machines*) sebagai mesin bor. Jam kerja dalam sehari menyesuaikan jam kerja proyek sebenarnya, yaitu 8 jam/hari. Waktu pelaksanaan dalam persiapan hingga *install* EPBM yang bersumber dari analisis lapangan atau *monitoring* harian. biaya dari pelaksanaan persiapan hingga *install* EPBM didapatkan, yaitu Rp105.483.641,69 sehingga untuk 2 terowongan didapatkan biaya sebesar Rp210.967.283,38

#### 7) Pipe Jacking

*Pipe jacking* adalah metode pendorongan pipa beton dengan menggunakan EPBM. *Pipe Jacking* merupakan pekerjaan utama dalam pembangunan *Tunnel* pada proyek sudetan kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur. Sehingga biaya yang diperlukan untuk pembuatan *pipe jacking* sebesar Rp695.788.000,00

#### 8) Perhitungan Belt Conveyor

*Belt Conveyor* digunakan sebagai alat bantu untuk mengeluarkan/menyalurkan lumpur dari dalam *tunnel* menuju luar

*tunnel* atau ke *driving shaft*. Total biaya keseluruhan pembuatan *belt conveyor* sebesar Rp428.600.000,00.

#### 9) Arriving Shaft

Proses *arriving shaft* terdiri dari pembobokan mulut dinding, pemasangan *guide rail*, T-Collar, dan pipa pelepas udara. Total biaya keseluruhan, yaitu sebesar Rp365.567.692,31

#### 10) Dewatering

*Dewatering* bertujuan untuk mengendalikan air (air tanah atau permukaan) agar tidak menghambat pekerjaan, pelaksanaan *dewatering* dimulai dari proses penggalian hingga proyek selesai yang mendapatkan 248 hari. Total biaya pekerjaan *dewatering*, yaitu Rp264.035.623,00.

#### 11) Bucket Lumpur

*Bucket* lumpur adalah *box* besi sebagai alat penampung lumpur untuk dipindahkan dari *driving shaft* menuju *muck pit*. Total Biaya pembuangan lumpur dari *bucket* ke *arriving shaft*, yaitu Rp382.600.000,00

#### 12) Grouting Tunnel

*Grouting* digunakan sebagai proses sementara untuk membuat tanah atau batuan menjadi lebih kuat. Total biaya yang digunakan dalam *grouting tunnel* sebesar Rp9.900.200.000,00

#### 13) Buangan Lumpur

Total biaya yang digunakan dalam buangan lumpur, yaitu sebesar Rp91.193.760,00

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan durasi dan biaya sesuai dengan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (1) Dalam pembangunan *tunnel* pada proyek pembangunan Sudetan Kali Ciliwung ini menggunakan metode *Micro-tunneling pipe jacking* yang di mana dilakukan pengeboran di dalam tanah dengan menggunakan mesin bor atau EPBM (*Earth Pressure Balance Machine*), dengan dikombinasikan dengan teknik *Pipe Jacking* atau pendorongan pipa pra-cetak dengan diameter 4 m, sebagai struktur dalam terowongan, pendorongan pipa pra-cetak dibantu dengan *hydraulic jack*, dan untuk mengeluarkan lumpur dari EPBM menggunakan alat bantu *belt conveyor*. (2) Dari analisis dan perhitungan proposal akhir sehingga didapatkan durasi dalam pelaksanaan proyek pembangunan *tunnel* pada *inlet* sudetan kali Ciliwung ke kanal Banjir Timur (KBT), yaitu 286 hari atau kurang lebih 9 bulan. (3) Dari analisis dan perhitungan penelitian sehingga didapatkan biaya dalam pelaksanaan proyek pembangunan *tunnel* pada *inlet* sudetan Kali Ciliwung ke Kanal Banjir Timur (KBT), yaitu Rp88.599.145.500,00. sudah termasuk PPN dengan sebesar 11%.

Hasil analisis perhitungan waktu dan biaya pelaksanaan pembangunan *tunnel* pada *inlet* sudetan kali Ciliwung ke kanal Banjir Timur, maka dapat ditarik beberapa saran adalah sebagai berikut: (1) Untuk mengetahui metode pelaksanaan yang lebih efisien, penulis menyarankan bagi peneliti yang lain untuk membandingkan dengan proyek lain, namun tetap sejenis. (2) Untuk menghasilkan durasi yang lebih akurat, penulis menyarankan bagi peneliti lain yang untuk melakukan penelitian secara langsung pada proyek lapangan,

agar mendapatkan hasil perhitungan durasi yang lebih akurat.  
(3) Untuk membandingkan biaya yang beragam, penulis menyarankan bagi peneliti yang lain untuk melakukan perbandingan secara material, jumlah tenaga kerja, dan alat berat yang digunakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Wu, G. Huang, Q. Meng, M. Zhang, and L. Li, "Deep tunnel for regulating combined sewer overflow pollution and flood disaster: a case study in guangzhou city, china," *Water*, vol. 8, no. 8, 2016, doi: 10.3390/w8080329.
- [2] S. N. Jusoh, A. R. Asnida, M. Aminaton, and F. Kassim, "Tunnel and Microtunnel for Future Smart and Sustainable Infrastructure Solution," in *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 2017, vol. 3, no. 6. doi: 10.12962/j23546026.y2017i6.3319.
- [3] Asiyanto, *Manajemen Produksi untuk Jasa Konstruksi*. Jakarta: Pradnya Paramitha, 2005. ISBN: 979-408-528-6.