

TESIS

ANALISIS PERBANDINGAN BIAYA DAN WAKTU PADA PENGUNAAN *DUCT SPACER* DENGAN *PREFABRICATED* DAN *HOLLOW* BAJA RINGAN UNTUK PEKERJAAN UNDERGROUND *DUCTING*

**(Studi Kasus Pekerjaan Underground *Ducting* untuk Instalasi
Airfield Lighting System di Bandara Dhoho Kediri, Jawa Timur)**



Disusun oleh :

Ali Masrodin

NIM : 20914002

**KONSENTRASI MANAJEMEN KONSTRUKSI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL - PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

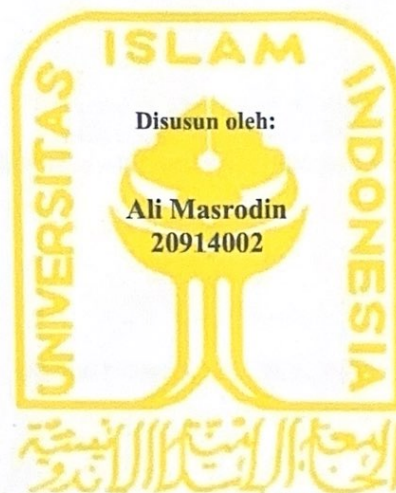
2024

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

**ANALISIS PERBANDINGAN BIAYA DAN WAKTU PADA
PENGUNAAN *DUCT SPACER* DENGAN *PREFABRICATED*
DAN *HOLLOW* BAJA RINGAN UNTUK
PEKERJAAN UNDERGROUND *DUCTING***

**(Studi Kasus Pekerjaan Underground *Ducting* untuk Instalasi
Airfield Lighting System di Bandara Dhoho Kediri, Jawa Timur)**



Diperiksa dan disetujui oleh:

(Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.)
Dosen Pembimbing Utama


Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**ANALISIS PERBANDINGAN BIAYA DAN WAKTU PADA
PENGUNAAN *DUCT SPACER* DENGAN *PREFABRICATED*
DAN *HOLLOW* BAJA RINGAN UNTUK
PEKERJAAN UNDERGROUND *DUCTING***

**(Studi Kasus Pekerjaan Underground *Ducting* untuk Instalasi
Airfield Lighting System di Bandara Dhoho Kediri, Jawa Timur)**

Disusun oleh:

**Ali Masrodin
20914002**

Telah diuji di depan Dewan Penguji
pada tanggal 15 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Pembimbing

(Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.)

Penguji I

(Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IP-M)

Penguji II

(Dr. Ir. Taufik Dwi Laksono, S.T., M.T.IP-M)

Yogyakarta,

30 SEP 2024

Universitas Islam Indonesia

Kepala Program Studi Teknik Sipil, Program Magister

Ketua Program



(Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program "Software" komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



1000
Rp
METERAI
TEMPEL
FD8ALX303681941

Ali Masrodin

(20914002)

"Rahasia kesuksesan adalah mengetahui yang orang lain belum ketahui."

- Aristotle Onassis-

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan proposal tesis ini dengan Judul Analisis Perhitungan Perkiraan Biaya Metode Pekerjaan *Ducting* Untuk Kabel Bawah Tanah Dengan *Prefabricated* Dan Konvensional *Duct spacer* sesuai dengan waktu yang direncanakan, Makalah ini merupakan salah satu persyaratan Kelulusan Magister Manajemen Konstruksi.

Makalah ini berusaha untuk memberikan kontribusi bagi kalangan praktisi di dunia teknik sipil, akademisi dan regulator kebandar udaraan, khususnya berkaitan dengan pelaksanaan pekerjaan *ducting* untuk kabel bawah tanah di Pembangunan Proyek Bandara Dhoho Kediri. Penulis menyadari bahwa makalah ini tidak terlepas dari kekurangan dan kelemahan yang masih harus diperbaiki oleh pembaca atau praktisi. Akhir kata, semoga makalah ini semakin memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dan wawasan baru bagi kita semua.

Pada kesempatan ini saya sampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT. selaku Kepala Program Studi Magister Teknik Sipil UII dan dosen pembimbing untuk penulisan tesis ini.
2. Bapak Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu dalam pengembangan penulisan tesis ini.
3. Bapak Visie Fairy Fradika selaku Manajer Proyek Proyek Bandara Internasional Kediri yang telah mendukung penulis untuk memperoleh gelar S2 di UII.
4. Mbak Fenska dan Mas Wisnu yang telah membantu penulis dalam perkuliahan.
5. Seluruh rekan manajemen dan pegawai di Proyek Bandara Kediri yang telah memberikan support dan back up selama saya mengerjakan makalah ini..
6. Orangtua saya yang telah mendukung penulis dalam melaksanakan penelitian ini.
7. Istri dan anak-anak penulis yang selalu memberikan support dan doa dalam setiap langkah kebaikan penulis.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam pengerjaan makalah ini. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan makalah ini.

Kediri, 15 Agustus 2024

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK.....	xiv
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II.....	7
2.1. Penelitian Terdahulu	7
2.2. Kesimpulan Penelitian Sebelumnya.....	9
2.3. Perbedaan Peneliti sebelumnya dengan Peneliti saat ini.....	9
BAB III	11
3.1. Proyek Konstruksi.....	11
3.1.1. Pengertian.....	11
3.1.2. Karakteristik Proyek Konstruksi	12
3.1.3. Pihak-pihak yang Terlibat dalam Proyek.....	12
3.2 Sistem Penerangan Bandar Udara (Airfield Lighting System)	13
3.3 Jaringan Pipa Bawah Tanah (<i>underground ducting</i>).....	14
3.4 Position Frame (<i>duct spacer</i>)	18
3.4.1 <i>Prefabricated Position Frame (duct spacer)</i>	19
3.4.2 <i>Conventional Position Frame (duct spacer)</i>	21
3.5 Analisis Waktu (Durasi Pekerjaan).....	21
3.5.1 Critical Path Method	22
3.6 Analisis Biaya Pekerjaan.....	24

3.7 Metode Konstruksi di Pekerjaan Underground <i>Ducting</i> di Proyek Bandara Kediri dengan Pemasangan <i>Duct spacer</i>	27
BAB IV	32
4.1 Uraian Umum.....	32
4.2 Metode Penelitian.....	32
4.3 Metode Pengumpulan Data	32
4.4 Diagram Alir Penelitian	33
BAB V.....	35
5.1 Desain <i>Duct spacer</i> dengan Material <i>Prefabricated</i> (PVC) dan <i>Hollow</i> Baja Ringan untuk Pekerjaan Pipa Kabel Bawah Tanah (Underground)	35
5.1.1 Desain <i>Duct spacer</i> dengan <i>Hollow</i> Baja Ringan.....	35
5.1.2 Desain <i>Duct spacer</i> dengan <i>Prefabricated</i> (PVC).....	37
5.2 Analisis Biaya dan Waktu terkait <i>Duct spacer</i> dengan Material <i>Prefabricated</i> (PVC) dan <i>Hollow</i> Baja Ringan.....	41
5.2.1 Analisis Waktu Pengadaan <i>Duct spacer</i>	41
5.2.2 Analisis Waktu Penyelesaian Pekerjaan Underground <i>Ducting</i>	43
5.2.3 Analisis Biaya Pengadaan <i>Duct spacer</i>	49
5.2.4 Analisis Biaya Pekerjaan Underground <i>Ducting</i>	51
5.3 Rekomendasi Material yang Dipilih untuk <i>Duct Spacer</i> pada Proyek Bandar Udara Kediri Berdasarkan Analisis Biaya dan Waktu.....	55
BAB VI	57
6.1 Kesimpulan	57
6.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	8
Tabel 5. 1 Properties Material PF 1000	40
Tabel 5. 2 Analisis Waktu Pengadaan <i>Duct spacer</i>	42
Tabel 5. 3 Hasil Uji Coba Penyelesaian Pekerjaan <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i>	45
Tabel 5. 4 Durasi Pekerjaan <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> Konvensional	46
Tabel 5. 5 Durasi Pekerjaan <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer Prefabricated</i>	46
Tabel 5. 6 Penjadwalan Pekerjaan <i>Duct spacer</i> Konvensional selama 50 Hari... ..	47
Tabel 5. 7 Penjadwalan Pekerjaan <i>Duct spacer Prefabricated</i> selama 50 Hari... ..	48
Tabel 5. 8 Perbandingan Biaya Pengadaan <i>Duct spacer</i>	50
Tabel 5. 9 Harga Satuan Dasar Tenaga	51
Tabel 5. 10 Harga Satuan Dasar Material	51
Tabel 5. 11 Harga Satuan Dasar Peralatan.....	51
Tabel 5. 12 Harga Satuan Pekerjaan	52
Tabel 5. 13 Harga Satuan Pekerjaan Instalasi Pipa <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> Konvensional per 1m'	52
Tabel 5. 14 Harga Satuan Pekerjaan Instalasi Pipa <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> <i>Prefabricated</i> per 1m'	53
Tabel 5. 15 Harga Satuan Pekerjaan Pipa <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> Konvensional dan Penutup Pasir per 1m	54
Tabel 5. 16 Harga Satuan Pekerjaan Pipa <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> Konvensional dan Penutup Beton per 1m.....	54
Tabel 5. 17 Harga Satuan Pekerjaan Pipa <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> <i>Prefabricated</i> dan Penutup Pasir per 1m	54
Tabel 5. 18 Harga Satuan Pekerjaan Pipa <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> <i>Prefabricated</i> dan Penutup Beton per 1m.....	54
Tabel 5. 19 Deviasi antara Penggunaan <i>Duct spacer</i> Konvensional dengan <i>Duct</i> <i>spacer Prefabricated</i>	55
Tabel 5. 20 Nilai Risiko Waktu Idle Alat Berat.....	55
Tabel 6. 1 Total Biaya Pekerjaan Underground <i>Ducting</i> dengan <i>Duct Spacer</i> Konvensional	58

Tabel 6. 2 Total Biaya Pekerjaan Underground Ducting dengan Prefabricated Duct <i>Spacer</i>	58
---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 <i>Project Management Triangle</i>	11
Gambar 3. 2 Lampu Penerangan Bandar Udara.....	14
Gambar 3. 3 Desain Standar Kabel Bawah Tanah.....	16
Gambar 3. 4 Aplikasi Warning Tape di Jalur Pemasangan Kabel.....	17
Gambar 3. 5 Warning Tape di Bandara Dhoho Kediri	17
Gambar 3. 6 Desain <i>ducting</i>	17
Gambar 3. 7 Desain manhole	18
Gambar 3. 8 Desain Instalasi Pipa <i>Ducting</i> dan Manhole	18
Gambar 3. 9 Position frame dari pabrikan beberapa negara di Asia No.1-3; India, No.4-5: China.....	20
Gambar 3. 10 Aplikasi Position Frame untuk pipa kabel bawah tanah pada Bangunan Gedung.....	20
Gambar 3. 11 Conventional Position Frame (<i>Duct spacer</i>).....	21
Gambar 3. 12 Jalur Kritis pada Metode CPM.....	22
Gambar 3. 13 Aktivitas pada CPM	23
Gambar 3. 14 Analisis Harga Satuan Pekerjaan	25
Gambar 3. 15 Diagram Analisi Harga Satuan Dasar	26
Gambar 3. 16 Tipikal Detail <i>Ducting</i> Bandara Kediri	27
Gambar 3. 17 Flowchart Pekerjaan <i>Ducting</i>	28
Gambar 3. 18 Pekerjaan Survei.....	29
Gambar 3. 19 Penggalan	29
Gambar 3. 20 Pemadatan Dasar Galian dengan Stamper	29
Gambar 3. 21 Ilustrasi Pemasangan <i>Duct spacer</i>	30
Gambar 3. 22 Penambahan waterproof cement pada Sambungan Pipa <i>Ducting</i> ..	30
Gambar 3. 23 Penghamparan Tanah Pasir atau Pengecoran dengan Beton Sesuai dengan Gambar Kerja	31
Gambar 3. 24 Penghamparan dan Pemadatan Material Timbunan.....	31
Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 5. 1 Desain <i>Duct spacer</i> dengan <i>Hollow</i> Baja Ringan	36
Gambar 5. 11 Baut yang Terekspose Memiliki Risiko Pekerja Tergores.....	36
Gambar 5. 12 Position frame dari Pabrikan beberapa Negara di Asia.....	37

Gambar 5. 13 <i>Duct spacer</i> dengan PVC	38
Gambar 5. 14 Dimensi <i>Duct Pipe Spacer</i>	39
Gambar 5. 15 Detail <i>Duct spacer</i>	39
Gambar 5. 16 Polytam.....	40
Gambar 5. 17 Diagram Gaya-gaya Dalam <i>Duct spacer</i> PVC.....	41
Gambar 5. 18 Logo dan <i>Duct spacer</i> dari Tecafine	42
Gambar 5. 19 <i>Duct spacer</i> dari Shandong Ningjin Xinxing Chemical.....	42
Gambar 5. 20 Ilustrasi Analisis Waktu Penyelesaian Pekerjaan <i>Ducting</i>	44
Gambar 5. 21 Uji Coba dengan <i>Duct spacer</i> PVC.....	44
Gambar 5. 22 Uji Coba dengan <i>Duct spacer Hollow</i> Baja Ringan.....	44
Gambar 5. 23 Durasi Pekerjaan <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer</i> Konvensional	46
Gambar 5. 24 Durasi Pekerjaan <i>Ducting</i> dengan <i>Duct spacer Prefabricated</i>	46

ABSTRAK

Proyek pembangunan Bandara Kediri mengalami permasalahan terkait pekerjaan *ducting* di bawah tanah. Desain Bandara Kediri menggunakan standar internasional, sehingga terdapat beberapa material yang tidak tersedia di Indonesia, yakni pipa dan *duct spacer*. *Duct spacer* adalah suatu alat yang digunakan untuk menyusun pipa *ducting* sesuai formasi pipa dan menahan pipa *ducting* terangkat yang diakibatkan gaya apung saat pengecoran. SKEP/114/VI/2002 menjadi acuan perencanaan kabel bawah tanah tersebut yaitu metode pemasangan langsung dengan kabel dibenamkan sedalam 70 cm, ditutup dengan pasit setebal 5 cm pada permukaan kabel. Dua hal tersebut sangat berbeda sehingga memerlukan solusi penyelesaian masalah.

Penyelesaian masalah tersebut dapat dilakukan dengan melakukan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan *duct spacer* yang tepat-guna di Indonesia. Terdapat dua alternatif material *duct spacer* yakni material PVC dan *hollow* baja ringan. Penelitian ini akan membandingkan biaya dan waktu terhadap dua material tersebut. *Duct spacer* dengan material PVC akan didatangkan dari luar negeri dan produksi di Indonesia. *Duct spacer* dengan material *hollow* baja ringan dilakukan secara mandiri di lokasi proyek.

Penelitian ini membahas tiga hal yakni metode pekerjaan *ducting*, desain *ducting*, dan analisis biaya-waktu. Metode kerja yang ada menggambarkan lokasi pemasangan yang sempit, jadwal pelaksanaan yang padat, dan terdapat beberapa formasi susunan pipa. Dengan demikian, *duct spacer* harus dibuat ringkas, sederhana, dan fleksibel terhadap tipe-tipe formasi susunan pipa. Desain *duct spacer* dengan material *hollow* baja ringan dibuat sederhana mungkin untuk mengurangi pekerjaan pembautan di lokasi proyek. Hal yang perlu diperhatikan adalah kemungkinan terjadinya tangan tergores baut-baut yang ada pada rangka *hollow* baja ringan. Desain *duct spacer* material PVC menggunakan material Polytam PF 1000. *Duct spacer* material PVC memiliki kuat geser nominal 399kg dan momen nominal 266 kg.cm atau dapat menahan beban tanah jenuh maksimal 162 cm tetapi tidak untuk menahan beban kendaraan. Hasil analisis waktu pengadaan *duct spacer* adalah pengadaan *duct spacer* PVC dari produsen di Indonesia yang paling cepat yakni 56 hari karena tidak memerlukan waktu clearance di pelabuhan. Hasil analisis waktu penyelesaian pekerjaan yang tercepat adalah penggunaan *duct spacer* PVC yakni 122 detik atau 3 kali lebih cepat daripada penggunaan *duct spacer hollow* baja ringan. Biaya pengadaan *duct spacer* hingga di lokasi proyek paling murah adalah dengan baja ringan. Namun, jika melakukan analisis kombinasi antara biaya dan waktu maka penggunaan *duct spacer* PVC menjadi pilihan yang paling baik. Hal ini dikarenakan dengan biaya yang tidak terlampau jauh, proses produksi dapat dipercepat sehingga dapat meminimalkan risiko keterlambatan.

Kata kunci: Evaluasi Biaya-Waktu, *Duct spacer*, Pekerjaan *Ducting*

ABSTRACT

The Kediri Airport development project encountered challenges related to underground ducting work. The design of Kediri Airport adheres to international standards, which led to the use of materials not readily available in Indonesia, specifically pipes and duct spacers. Duct spacers are tools used to arrange ducting pipes according to their formation and prevent them from floating during concrete pouring due to buoyancy. The SKEP/114/VI/2002 serves as a reference for underground cable installation, involving direct burial of cables at a depth of 70 cm, covered with a 5 cm layer of sand above the cable surface. These two approaches significantly differ, necessitating problem-solving solutions.

To address this issue, research was conducted to find suitable duct spacers in Indonesia. Two alternative materials were considered: PVC and lightweight hollow steel. The study compared costs and time associated with these materials. PVC duct spacers would be imported and be fabricated in Indonesia, while hollow steel duct spacers would be fabricated on-site.

The research focused on three aspects: ducting work methods, duct spacer design, and cost-time analysis. Given tight installation spaces and busy schedules, duct spacers needed to be compact, simple, and adaptable to various pipe formations. The design for hollow steel duct spacers aimed for simplicity to reduce on-site construction work. However, care was taken to avoid potential injuries from exposed bolts on the hollow steel frame. The PVC duct spacer design utilized Polydam PF 1000 material, with a nominal shear strength of 399 kg and a nominal moment of 266 kg·cm—sufficient to withstand saturated soil loads up to 162 cm but not vehicular loads. Analyzing procurement time, PVC duct spacers from Indonesian manufacturers were the quickest, taking only 56 days due to no port clearance delays. The fastest completion time for the project was achieved using PVC duct spacers, taking 122 seconds—three times faster than hollow steel duct spacers. While lightweight steel was the most cost-effective option for on-site procurement, combining cost and time analysis favored PVC duct spacers. The minimal cost difference allowed for accelerated production, minimizing the risk of delays.

Keywords: *Ducting Works, Duct spacer, Cost-Time Evaluation*

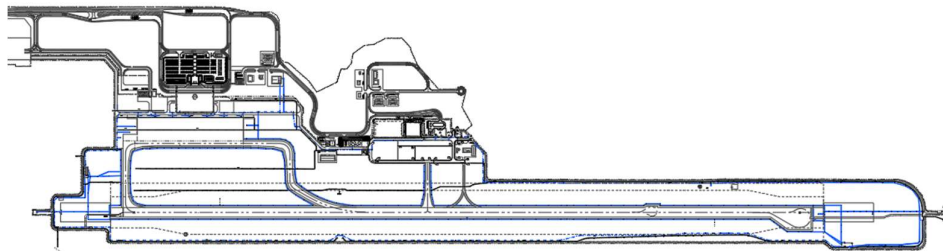
BAB I

PENDAHULUAN

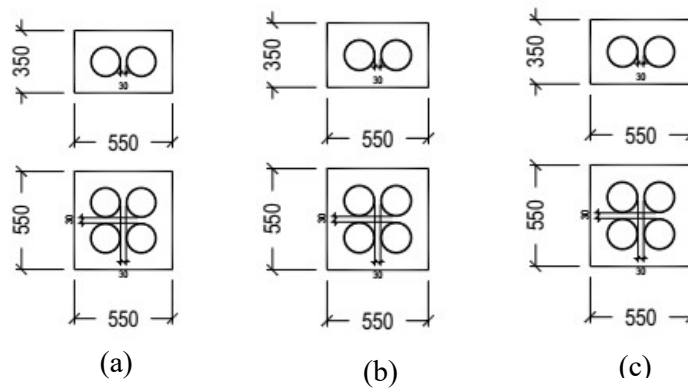
1.1 Latar Belakang

Proyek pembangunan Airside Main Contract Works for New Airport Development at Kediri East Java, Indonesia, selanjutnya disebut Proyek Bandara Kediri, berada di Kecamatan Sawah dan Bulu Sari, Kecamatan Grogol, Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Pemilik Proyek ini adalah PT Surya Dhoho Investama, salah satu anak perusahaan PT Gudang Garam Tbk. Proyek ini dibangun mempunyai fungsi sebagai prasarana transportasi udara yang mencakup kawasan mulai dari Kabupaten Kediri, Tulungagung, Nganjuk dan Trenggalek, sehingga dapat memangkas perjalanan dari sebelumnya ke bandara Juanda Surabaya.

Pada Proyek Pembangunan Bandara Kediri, sisi udara (*airside*) meliputi pekerjaan *flexible pavement*, *rigid pavement*, drainase, penanaman rumput dan pekerjaan *ducting* untuk jalur instalasi kabel-kabel untuk lampu dan instrumen navigasi pesawat. Pekerjaan *ducting* adalah sebuah pekerjaan pembuatan jalur kabel, yang berupa Pipa PVC diameter 7inch (160mm) yang ditanam didalam tanah, kemudian diberikan proteksi berupa selimut beton bertulang atau pasir yang dipadatkan, kemudian ditimbun dengan material timbunan sesuai yang dipersyaratkan. Lokasi pekerjaan ini berada di wilayah airside seperti pada gambar di bawah ini, dimana garis biru menunjukkan jalur *ducting*.

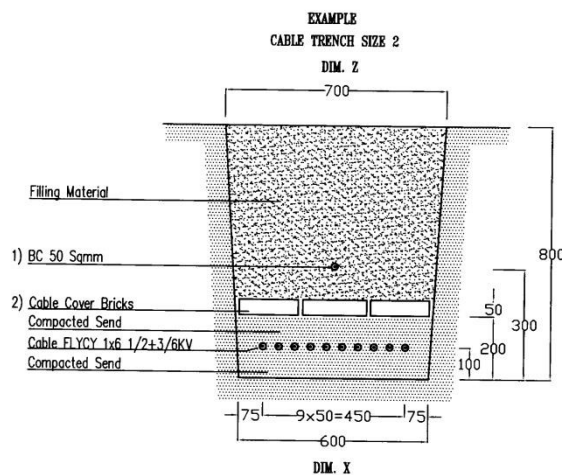


Gambar 1. 1 Layout *Ducting* di Proyek Bandara Kediri



Gambar 1. 3 Tipe Susunan Pipa, (a) 1Ø160, (b) 2Ø160, 4Ø160, (c) 6Ø160, 9Ø160

Perencanaan *ducting* tersebut berbeda dengan Peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2002. Sesuai dengan Standar Gambar Instalasi Sistem Penerangan Bandar Udara (*Airfield Lighting System*)” diketahui bahwa sistem *grounding cable* di gelar tanpa adanya pipa dan *duct spacer /postion frame*. Kabel hanya dilindungi dengan pasir dan batu bata pada kedalaman tanah tertentu.(SKEP - 114 - VI - 2002 - Pit Trafo Dan Galian Kabel.Pdf, n.d.)



Gambar 1. 4 Desain grounding cable tanpa position frame

Sumber:(Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2002)

Hal ini pun selaras dengan (Utomo et al., 2023) yang melakukan penelitian dengan judul Studi Perencanaan Kabel Bawah Tanah di Proyek Perumahan Anvaya

Townhouse Kota Bogor. SNI 04-0224-2000 menjadi acuan perencanaan kabel bawah tanah tersebut yaitu metode pemasangan langsung dengan kabel dibenamkan sedalam 70 cm, ditutup dengan pasit setebal 5 cm pada permukaan kabel. Berdasarkan regulasi yang ada di Indonesia, *duct spacer* belum digunakan dalam perencanaan kabel *ducting* di bawah tanah. Padahal, *duct spacer* memiliki kelebihan yakni membuat pipa *ducting* dapat disusun sesuai jarak desain dan tidak melengkung sebagai akibat gaya apung yang terjadi pada saat pengecoran (Takhirov et al., 2019).

Analisis terkait perbedaan pun dilanjutkan untuk menemukan masalah-masalah lain yang mungkin muncul. Berikut ini adalah analisis perbedaan desain *ducting* antara desain yang ada dalam forcon dengan standar di Indonesia yang ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2 Perbedaan desain pekerjaan kabel bawah tanah

No	Deskripsi	Desain		Keterangan
		Bandara Kediri	SKEP/114/VI/2002	
1	Saluran/ Duct	Pipa PVC dia 160mm	tanpa pipa pvc (tanpa duct)	Melintang dibawah timbunan perkerasan Selain lokasi timbunan perkerasan Sepanjang saluran kabel
2	Spacer	Position Frame/ spacer	tanpa Position Frame/ spacer	
3	Proteksi	Beton bertulang	Beton bertulang	
		Pasir padat	Pasir padat	
4	Penanda	Warning tape Cerah	Susunan Bata Merah	
5	Dalam Galian	Varies	800cm	

Tim proyek mengirimkan Request for Approval terkait perencanaan *ducting* agar disesuaikan dengan standar di Indonesia, tetapi konsultan perencana meminta supaya *position frame* wajib dipasang. Hal ini agar susunan pipa tidak mengalami pergeseran/ perubahan selama masa pelaksanaan pekerjaan dan kabel-kabel instalasi (yang tidak *flexible*) dapat dipasang dengan baik. Namun, konsultan perencana memberikan kelonggaran terkait bentuk *position frame* yang dapat disesuaikan dengan kondisi di Indonesia.

Tim proyek pun memberikan tiga opsi terkait penyelesaian masalah tersebut yakni: 1) pembelian support material dari luar negeri, 2) penggunaan material *hollow*, dan 3) pabrikasi support material di Indonesia dengan material plastik. Alternatif 1 sudah dilakukan tim proyek hingga menemui kendala bahwa produsen *duct spacer* terdekat berasal dari China dan India berbeda dengan desain dari

Konsultan Perencana karena dimensi nominal pipa tidak standar. Tim proyek pun melakukan alternatif 2 dan alternatif 3.

Pada alternatif 2, tim proyek akan menggunakan material *hollow* baja ringan yang akan dirakit di lapangan. Baja ringan akan disusun sedemikian rupa dan titik-titik sambungannya menggunakan paku sekrup, sehingga dapat menjadi support material untuk pipa PVC. Pada alternatif 3, tim proyek akan menggunakan material plastik *Polivinyll Chloride* (PVC) yang dibuat seperti *puzzle* yang dapat disusun sedemikian rupa sesuai kebutuhan dan sesuai variasi susunan pipa PVC. Material PVC dipilih karena memiliki karakter material mudah dibentuk sesuai desain yang dibutuhkan, cukup kaku dan tahan air/ tidak korosi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan penelitian untuk menganalisis dan menentukan material *position frame/ duct spacer* apa yang akan dipakai. Analisis yang akan dilakukan meliputi biaya dan waktu. Hasil analisis akan digunakan sebagai bahan evaluasi sehingga dapat diketahui produk mana yang efisien dan efektif untuk kondisi yang telah dijelaskan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan.

1. Bagaimana desain *Duct spacer* dengan material prefabricated dan konvensional untuk pekerjaan pipa kabel bawah tanah (*underground*) pada Sistem Penerangan Bandar Udara di Proyek Bandara Kediri?
2. Bagaimana biaya dan waktu terkait *Duct spacer* dengan material prefabricated dan konvensional?
3. Bagaimana rekomendasi material yang dipilih untuk *duct spacer* pada Proyek Bandar Udara Kediri berdasarkan analisis biaya dan waktu?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas.

1. Menjelaskan desain *Duct spacer* dengan material *prefabricated* dan *hollow* baja ringan untuk pekerjaan pipa kabel bawah tanah

(*underground*) pada Sistem Penerangan Bandar Udara di Proyek Bandara Kediri.

2. Melakukan analisis biaya dan waktu terkait pemakaian *duct spacer* dengan material prefabricated dan konvensional (*hollow* baja ringan).
3. Memberikan rekomendasi material yang dipilih untuk *duct spacer* pada Pekerjaan *Underground Ducting* di Proyek Bandar Udara Kediri berdasarkan hasil analisis biaya dan waktu.

1.4 Batasan Masalah

Hal-hal yang akan dibahas dalam makalah ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut.

1. Studi kasus pada pekerjaan *ducting* di Proyek Bandara Kediri.
2. Desain *Duct spacer* mengacu pada desain *ductbank/pipe duct spacer* yang sudah berjalan di negara lain dengan penyesuaian kebutuhan proyek.
3. Desain *Duct spacer* disesuaikan dengan kemudahan pembuatan/pengadaannya, pengangkutan dan pemasangan.
4. Analisis kekuatan desain nominal menggunakan data primer dan sekunder di Proyek Bandara Kediri
5. Analisis dibatasi pada estimasi biaya dan waktu pekerjaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut,

1. Memberikan pengetahuan teknis pelaksanaan pekerjaan pipa kabel AFL dalam pembangunan proyek bandara pada umumnya dan Bandara Kediri pada khususnya.
2. Menjawab kebutuhan material *duct spacer* pada pekerjaan pipa kabel AFL di Bandara Kediri.
3. Sebagai salah satu referensi bagi regulator kebandar-udaraan untuk mengkaji regulasi yang ada sesuai dengan perkembangan teknologi, khususnya pada pelaksanaan pekerjaan pipa kabel AFL di Bandara Kediri.
4. Mengetahui biaya pekerjaan pipa kabel AFL di Bandara Kediri.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

(Hudha & Multi, 2019) yang melakukan kajian pada Perencanaan Kabel Bawah Tanah pada Instalasi Pengolahan Gas menyimpulkan bahwa instalasi kabel bawah tanah (*direct buried*) lebih ekonomis daripada instalasi *above ground* yang menggunakan rak kabel. Pada penelitian ini, standart instalasi kabel bawah tanah dilakukan secara langsung dalam tanah tanpa dimasukkan ke dalam saluran pelindung seperti *duct* atau pipa.

(Utomo et al., 2023) melakukan penelitian dengan judul Studi Perencanaan Kabel Bawah Tanah di Proyek Perumahan Anvaya Townhouse Kota Bogor. Penelitian ini melakukan perencanaan kabel bawah tanah sebagai dasar untuk pembangunan perumahan Anvaya Townhouse. Perencanaan kabel bawah tanah dipilih karena saluran udara yang dipasang dengan tiang penyangga memiliki kekurangan yakni mudah mengalami gangguan cuaca iklim dan tidak baik secara estetika. SNI 04-0224-2000 menjadi acuan perencanaan kabel bawah tanah tersebut yaitu metode pemasangan langsung dengan kabel ditanamkan sedalam 70 cm, ditutup dengan pasit setebal 5 cm pada permukaan kabel.

(Liu et al., 2021) melakukan penelitian *Bending Capacity of Concrete-Encased Underground Electrical Duct Banks under Monotonic Loading: An Experimental Study*. Penelitian ini menggunakan PVC *spacers* untuk menyangga pipa *ducting* supaya dalam formasi yang dibutuhkan. PVC *spacers* ini pun dapat digunakan dengan baik dalam memisahkan pipa internal dengan dinding beton.

(Elgharbawy, 2022) melakukan penelitian terkait penggunaan Poly Vinyl Chloride. Material PVC dapat memiliki dua karakter yakni rigid dan fleksibel. PVC pun dapat ditambahkan zat adiktif untuk memperbaiki karakteristiknya. Material PVC pun digunakan dalam dunia konstruksi seperti pipa dan *ducting* karena kekuatan, ringan, dan durabilitas terhadap cuaca.

(Takhirov et al., 2019) melakukan penelitian untuk melihat perilaku pembuatan kabel yang dimasukkan ke dalam pipa, kemudian dicor atau ditimbun dengan beton menjadi satu kesatuan. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis

perbandingan antara *ducting* beton dengan tulangan dan tanpa tulangan. Penelitian ini menghasilkan bahwa tulangan pada beton memberikan pengaruh yang signifikan pada kekuatan perlindungan kabel. Pada *ducting* beton tanpa tulangan, *duct spacer* memiliki peranan penting agar kabel tidak melengkung sebagai akibat gaya apung yang terjadi pada saat pengecoran.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Topik	Hasil Penelitian
1.	(Hudha & Multi, 2019)	Perencanaan Saluran Kabel Bawah Tanah pada Instalasi Pengolahan Gas	Instalasi kabel bawah tanah (<i>direct buried</i>) lebih ekonomis daripada instalasi <i>above ground</i>
2.	(Utomo et al., 2023)	Studi Perencanaan Kabel Bawah Tanah di Proyek Perumahan Anvaya Townhouse Kota Bogor	Perencanaan kabel bawah tanah dipilih karena saluran udara yang dipasang dengan tiang penyangga memiliki kekurangan yakni mudah mengalami gangguan cuaca iklim dan tidak baik secara estetika.
3	(Liu et al., 2021)	Poly Vinyl Chloride Additives and Applications	PVC <i>spacers</i> ini pun dapat digunakan dengan baik dalam memisahkan pipa internal dengan dinding beton.
4.	(Elgharbawy, 2022)	Poly Vinyl Chloride Additives and Applocations	Material PVC pun digunakan dalam dunia konstruksi seperti pipa dan <i>ducting</i> karena kekuatan, ringan, dan durabilitas terhadap cuaca.

No.	Peneliti	Topik	Hasil Penelitian
5.	(Takhirov et al., 2019)	Reinforce Underground Concrete <i>Ductbanks</i> as a Better Power Transmission Alternative to Overhead Powerlines in Earthquake and Fire Prone Areas	Pada <i>ducting</i> beton tanpa tulangan, <i>duct spacer</i> memiliki peranan penting agar kabel tidak melengkung sebagai akibat gaya apung yang terjadi pada saat pengecoran.

2.2. Kesimpulan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan hasil kajian di atas, instalasi kabel dapat direncanakan ditanam di bawah tanah. Ada beberapa pemilihan jenis konstruksi yakni tanam langsung atau saluran pipa. Menurut (Utomo et al., 2023), metode tanam langsung memiliki waktu pengerjaan singkat dan biaya murah dengan risiko kerusakan tinggi, sedangkan metode saluran pipa memiliki waktu pengerjaan singkat dan biaya lebih mahal dengan risiko kerusakan yang rendah. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Takhirov et al., 2019), penggunaan beton untuk pengecoran *ducting* memberikan durabilitas yang baik saat terjadi gempa, bahkan jika *ducting* beton menggunakan tulangan. Penelitian yang dilakukan oleh (Takhirov et al., 2019) dan (Liu et al., 2021) menggunakan *spacer* berbahan PVC untuk membuat formasi pipa *ducting* sedemikian rupa sesuai standar jarak yang ditentukan. Bahan PVC dipilih karena memiliki kekuatan, ringan, dan durabilitas terhadap cuaca (Elgharbawy, 2022).

2.3. Perbedaan Penelitian sebelumnya dengan Penelitian saat ini

Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan *spacer* di Indonesia masih belum familiar. Hal ini dikarenakan pekerjaan *ducting* bawah tanah mengacu pada standar dari Departemen Perhubungan Udara (DBU) Kementerian Perhubungan yaitu SKEP/114/VI/2002 yang menjadi acuan perencanaan kabel bawah tanah tersebut yaitu metode pemasangan langsung dengan kabel dibenamkan sedalam 70 cm, ditutup dengan pasit setebal 5 cm pada

permukaan kabel (Utomo et al., 2023). Hal ini membuat *duct spacer* pun belum dijual di Indonesia.

Pembangunan Bandara Dhoho Kediri tidak menggunakan Standar Nasional Indonesia. Konsultan perencana lebih mengutamakan kemampuan tinggi dan risiko kerusakan rendah pada perencanaan *ducting* sehingga dipilih penggunaan saluran pipa. Hal ini pun mendukung pada saat pemeliharaan dimana penggantian kabel akan lebih mudah dilakukan terkait peningkatan layanan jika diperlukan. Penyedia jasa pun dituntut untuk memenuhi persyaratan tersebut meskipun *duct spacer* yang sangat diperlukan tidak ada di Indonesia. Tanpa *duct spacer*, desain formasi pipa tidak dapat sesuai spesifikasi dan perencanaan yang telah dibuat.

Berdasarkan masalah tersebut, Penyedia Jasa sebagai tim yang melaksanakan konstruksi akan membuat alternatif untuk *duct spacer* tersebut, yakni menggunakan *hollow* dan *prefabricated* dengan material PVC seperti yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Pemilihan material tentunya akan mengacu pada hasil analisis perbandingan biaya dan waktu pada dua material yang digunakan. Penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan di Luar Negeri akan menjadi acuan untuk pembuatan *duct spacer* PVC yang sesuai dengan kebutuhan di Pembangunan Bandara Dhoho Kediri, baik material maupun sistem koneksi antar bagian spacer, yaitu menggunakan sistem *interlocking*. Hasil inilah yang akan membawa Indonesia menjadi lebih baik karena akan ada alternatif *duct spacer* jika diperlukan untuk pekerjaan kabel bawah tanah dengan *ducting* dengan material pengisi berupa timbunan agregat atau cor beton (diluar Standar Nasional Indonesia saat ini).

BAB III LANDASAN TEORI

3.1. Proyek Konstruksi

3.1.1. Pengertian

Menurut (Irika, 2020) “Proyek adalah kegiatan dengan tujuan yang jelas, waktu yang terbatas, dan biaya tertentu”. Menurut Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 2021, konstruksi adalah serangkaian kegiatan yang ditujukan untuk pembuatan, pemeliharaan, dan pembongkaran bangunan yang sebagian dan/atau seluruhnya melekat pada barang tidak bergerak atau rumah yang melekat pada barang tidak bergerak. Peraturan tersebut mengatur bahwa konstruksi diselenggarakan sedemikian rupa untuk menghasilkan bangunan konstruksi yang kuat, andal, berdaya saing, bermutu tinggi, dan berkelanjutan.

Penjelasan di atas menyimpulkan bahwa kegiatan konstruksi memiliki tiga faktor utama yang mempengaruhi hasil pekerjaan: kualitas, waktu, dan biaya. Ini disebut Triple Constraint atau Project Management Triangle, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 1.



Gambar 3. 1 *Project Management Triangle*

Project management triangle di atas akan dijelaskan di bawah ini sebagai berikut:

1. Biaya: terdapat batas biaya untuk suatu proyek. Jika alokasi biaya dikurangi, kualitas proyek akan menurun atau jam kerja harus ditambah.

2. Waktu: terdapat tenggat waktu untuk menyelesaikan suatu proyek. Jika Anda perlu mempercepat proyek Anda, biaya akan meningkat atau kualitas akan menurun.
3. Mutu (*scope*): pemenuhan kualitas seringkali tidak memenuhi syarat karena ketidakpahaman spesifikasi yang ditetapkan awal. Waktu dan biaya meningkat ketika kualitas proyek perlu ditingkatkan.

Hal ini dikarenakan banyak faktor yang menjadi kendala dalam project management triangle yakni sumber daya manusia, material, peralatan, dokumen kontrak dan pekerjaan, rencana dan jadwal, sistem pemeriksaan, manajemen dan evaluasi kerja, metode konstruksi, pembiayaan dan faktor variabel dan faktor lingkungan.

3.1.2. Karakteristik Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi memiliki karakteristiknya sendiri, membutuhkan sumber daya dan terorganisir yakni:

1. Proyek memiliki karakteristiknya sendiri. Dengan kata lain, banyak aktivitas dalam suatu proyek tidak memiliki aktivitas yang persis sama di proyek lainnya atau proyek sejenis (identik).
2. Proyek juga membutuhkan sumber daya seperti tenaga kerja, mesin, peralatan, peralatan, dan material untuk mencapai tujuannya.
3. Proyek membutuhkan organisasi. Dengan kata lain, diperlukan sistem yang menghubungkan semua tenaga kerja yang beragam dengan keterampilan, kepribadian, dan minat yang berbeda untuk mencapai tujuan yang sama.

3.1.3. Pihak-pihak yang Terlibat dalam Proyek

Di bawah ini adalah uraian para pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi berdasarkan PP Nomor 14 Tahun 2021:

1. Owner adalah pihak yang menggunakan layanan konstruksi.
2. Penyedia jasa (main-cont) adalah pihak utama yang memberikan jasa konstruksi kepada owner.

3. Sub-cont adalah kontraktor lain yang memberikan jasa kepada main-cont.
4. Konsultan keseluruhan usaha atau bagian dari suatu kegiatan yang menyangkut evaluasi, perencanaan, pengawasan dan pengelolaan pembangunan suatu bangunan.
5. Pemerintah selaku pembuat kebijakan tentang peraturan-peraturan yang berkaitan dengan sengketa konstruksi, asosiasi, sertifikasi, dll.
6. Asosiasi adalah organisasi ekonomi yang bergerak dalam kegiatan jasa konstruksi.
7. Masyarakat yang secara langsung dan tidak langsung berkomunikasi dengan pihak-pihak yang ada di dalam industri konstruksi.

3.2 Sistem Penerangan Bandar Udara (Airfield Lighting System)

Bandara Kediri dilengkapi dengan prasarana Penerangan Bandar Udara, dimana jaringan kabel untuk mensuplai listrik semua lampu *Airfield Lighting System* (AFL) menggunakan jaringan bawah tanah. Jaringan ini menempatkan kabel-kabel dalam pipa conduit khusus, kemudian ditanam di dalam tanah dengan kedalaman tertentu.

Sistem Penerangan Bandar Udara (*Airfield Lighting System*) adalah alat bantu pendaratan visual yang berfungsi membantu dan melayani pesawat udara yang melakukan tinggal landas, mendarat dan melakukan taxi agar dapat bergerak secara efisien dan aman. Fasilitas ini terdiri dari lampu-lampu khusus, yang memberikan isyarat dan informasi secara visual kepada penerbang, terutama pada waktu penerbang akan melakukan pendaratan atau tinggal landas. (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2002).



Gambar 3. 2 Lampu Penerangan Bandar Udara

Isyarat dan informasi visual ini disediakan dengan mengatur konfigurasi, warna, dan intensitas cahaya dari lampu-lampu khusus tersebut. Pada umumnya, sewaktu akan melakukan pendaratan atau tinggal landas, penerbang lebih mengandalkan penglihatannya ke luar pesawat dari pada melihat instrumen yang terdapat dalam cockpit pesawatnya. (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2002).

3.3 Jaringan Pipa Bawah Tanah (*underground ducting*)

Terdapat dua macam jaringan instalasi listrik yang umumnya yang diketahui, yaitu instalasi jaringan listrik atas dan instalasi listrik bawah tanah. Saluran Kabel tanah Tegangan Rendah (SKTR) secara umum tidak banyak dipakai sebagai jaringan distribusi Tegangan Rendah, kecuali hanya dipakai dalam hal:

1. Kabel utama dari Gardu ke jaringan Tegangan Rendah (Opstik kabel/kabel naik)
2. Pada lintasan yang tidak dapat memakai Saluran Udara
3. Pada daerah-daerah eksklusif atas dasar permintaan, seperti:
 - a) Perumahan real estate
 - b) Daerah komersil khusus (PT. PLN (Persero), 2010)

Jaringan listrik bawah tanah ini diaplikasikan oleh karena memiliki keunggulan sebagai berikut:

1. Tahan Cuaca

Dengan instalasi kabel yang tertanam di bawah tanah, hal ini akan membuat jaringan listrik lebih tahan terhadap resiko kerusakan yang diakibatkan oleh cuaca buruk dan ekstrim seperti terik panas, angin kencang, hujan lebat, atau sambaran petir. Instalasi kabel listrik yang tertanam di bawah tanah juga akan lebih tahan terhadap faktor-faktor eksternal lain.

2. Minim Radiasi Magnetik

Instalasi kabel bawah tanah akan memiliki radiasi magnetik yang lebih kecil dibandingkan dengan instalasi kabel atas karena ditahan oleh pelindung tambahan, sehingga rugi daya lebih kecil daripada saluran kabel udara.

3. Lebih Awet

Instalasi listrik bawah tanah akan bersifat lebih awet karena batas umurnya dua kali lipat dari pada saluran udara.

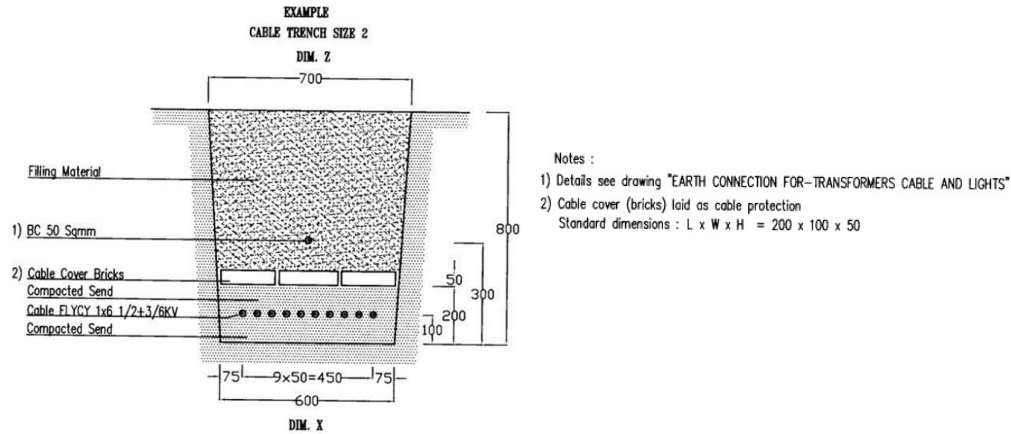
4. Unggul Secara Estetika

Karena keberadaannya yang tertanam di bawah tanah, instalasi listrik jenis ini tentu akan membuat tempat sekitar lebih terlihat rapi dan indah.

Sesuai KP 2 Tahun 2013, tentang Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara, menjelaskan bahwa pada pekerjaan kabel bawah tanah ditanam 0,8m dibawah tanah pada jalan yang dilewati kendaraan, 0,6m pada jalan yang tidak dilewati kendaraan. Kabel diletakkan dalam pasir, tidak kurang 5cm disekeliling kaber dan di atas urugan pasir dapat dipasang beton, batu atau bata pelindung. Masih sesuai KP di atas, kabel tanah yang sudah tidak terpakai disarankan agar diambil dari dalam tanah untuk menghindari *open fire* terhadap jaringan yang baru.(Kementrian Perhubungan, 2013)

Jenis kabel yang dipakai adalah jenis kabel dengan isolasi ganda atau dengan pelindung mekanis (contoh NYFGbY). Kabel jenis NYY dapat dipakai dengan persyaratan harus dimasukkan dalam pipa pelindung sebagai penahan tekanan

mekanis. Persyaratan konstruksi kabel bawah tanah sama dengan persyaratan konstruksi kabel bawah tanah jaringan Tegangan Menengah, hanya kedalaman penggelaran adalah ± 60 cm



Gambar 3. 3 Desain Standar Kabel Bawah Tanah

Sumber: (SKEP - 114 - VI - 2002 - Pit Trafo
Dan Galian Kabel.Pdf, n.d.)

Standar pelaksanaan pekerjaan kabel bawah tanah, pada umumnya mengacu kepada desain sesuai regulasi di atas. Pada gambar di atas, menjelaskan tentang standar pekerjaan kabel bawah tanah, dimana diketahui bahwa sistem *power cable* di gelar tanpa adanya pipa dan *postion frame*. Sistem proteksi kabel berupa aplikasi bata merah (*bricks*) yang dipasang selebar hamparan kabel pada kedalaman tanah tertentu.

Pada semua pekerjaan kabel pipa bawah tanah, pada lokasi galian kabel harus diberi pita penanda/ *warning tape* pada kedalaman 6inch sebelum *top surface* timbunan. Pita penanda harus terbuat dari material plastic berpigmen penuh/ bukan berlapis tinta warna, dengan warna pigmen cerah (merah, kuning menyala) dan dipasang sepanjang lokasi galian kabel pipa.(Faa-c-, 2012).

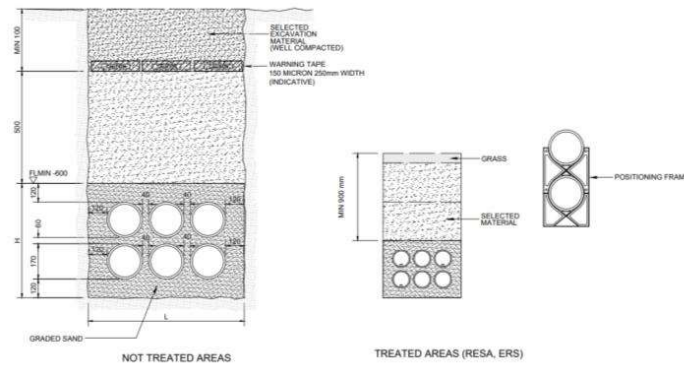


Gambar 3. 4 Aplikasi Warning Tape di Jalur Pemasangan Kabel



Gambar 3. 5 Warning Tape di Bandara Dhoho Kediri

Ducting bawah tanah diproyek bandara sendiri berupa pipa PVC yang diselimuti pasir dan terhubung kepada manhole. Pipa pvc yang disertakan memiliki ketebalan 5 mm dan diameter 160 mm. Desain *ducting* adalah sebagai berikut:

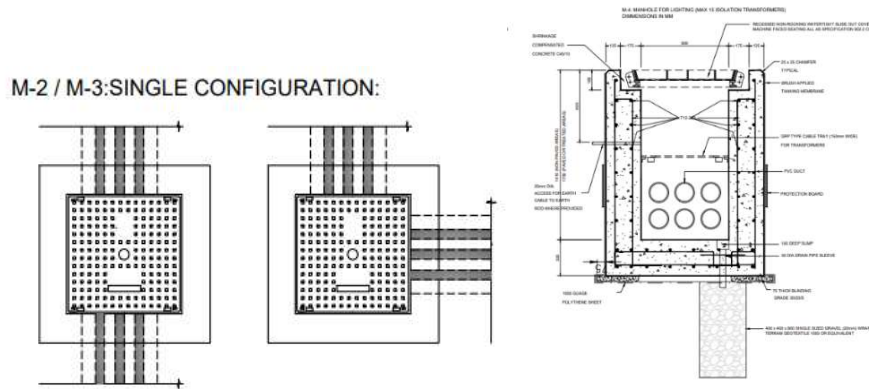


Gambar 3. 6 Desain *ducting*

Ducting dilengkapi dengan manhole, yaitu sebuah struktur yang memungkinkan personil untuk memasang, merawat dan mengganti kabel-kabel yang tertanam dalam *ducting*. Struktur manhole sisi luar, diberi lapisan

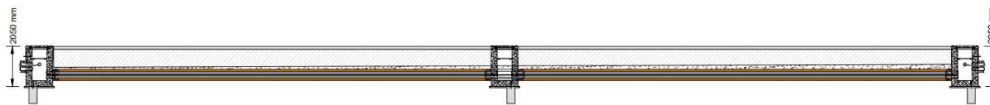
waterproff dari bahan ter aspal (*waterproof coated with coal tar epoxy bitumastic*), yang mana berfungsi untuk memberikan lapisan kedap air.(Weatherbee, 2015)

Adapun desain manhole pada proyek airside bandara kediri adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 7 Desain manhole

Jarak antar manhole adalah sekitar 60 m, dan paling dekat sekitar 20 m. Adapun pemasangan antara manhole dan *ducting* dapat dilihat pada gambar dibawah;



Gambar 3. 8 Desain Instalasi Pipa *Ducting* dan Manhole

Fungsi dari *manhole* adalah sebagai platform pekerjaan instal/uninstall kabel, penempatan assesories kabel dan sebagai akses manpower untuk perbaikan ataupun *maintenance* selama masa operasional bandara.

3.4 Position Frame (*duct spacer*)

Pada pekerjaan pipa tanpa selimut beton menyatakan bahwa; ketika dua atau lebih saluran dipasang diparit yang sama tanpa selimut beton, jaraknya tidak kurang dari dua inci (diukur dari dinding luar ke dinding luar) dalam arah mendatar atau tidak kurang jaraknya kurang dari enam inci dalam arah vertikal.(CQ Press, 2020).

Menurut standar pada paragraf di atas, pemasangan pipa conduit kabel AFL bandar udara, memerlukan sebuah material bantu yang dikenal dengan istilah *duct*

spacer . *Duct spacer* dikenal juga dengan istilah position frame, yakni sebuah asesoris pipa *ducting* yang mendukung saluran kabel bawah tanah maupun mendukung sistem rak kabel non logam. Fungsi atau manfaat *Duct spacer / position frame* pada *ducting* bawah tanah adalah sebagai berikut;

1. Mengikat pipa bersama, secara vertikal, secara horizontal sehingga pemasangan di lapangan berlangsung cepat dan aman.
2. Agar pipa saling mengunci vertikal dan horizontal memungkinkan pembangunan *system ducting* yang kuat.
3. Mencegah adanya pergerakan atau pergeseran pipa yang tidak sesuai desain pada saat pekerjaan tahap selanjutnya dikerjakan, misal pekerjaan pembetonan atau penimbunan kembali.

Bentuk dan ukuran dari *Duct spacer* beraneka ragam menyesuaikan ukuran dan jarak yang dibutuhkan. Di sisi lain, bahan material yang digunakan pun ada beberapa macam yang dapat dibagi menjadi dua jenis yakni *prefabricated duct spacer* yang menggunakan material plastik seperti PVC dan HDPE dan *conventional duct spacer* yang menggunakan material yang dapat dibuat di workshop seperti baja ringan atau besi tulangan. Berikut ini pembahasan terkait jenis material *duct spacer* .

3.4.1 Prefabricated Position Frame (*duct spacer*)

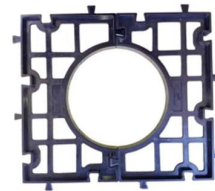
Bentuk dan ukuran dari *Duct spacer* beraneka ragam menyesuaikan ukuran dan jarak yang dibutuhkan. Meskipun demikian, *Duct spacer* terbuat dari bahan plastik atau PVC dengan ketebalan tertentu. Setiap pabrikan juga memiliki bentuk yang beraneka ragam dan memiliki sistem sambungan yang beraneka ragam juga. Beberapa bentuk position frame yang penulis himpun dari beberapa sumber antara lain;



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)

Gambar 3. 9 Position frame dari pabrikan beberapa negara di Asia No.1-3; India, No.4-5: China



Gambar 3. 10 Aplikasi Position Frame untuk pipa kabel bawah tanah pada Bangunan Gedung

3.4.2 Conventional Position Frame (*duct spacer*)

Duct spacer konvensional merupakan *duct spacer* yang umum dijumpai di pekerjaan-pekerjaan pipa dengan pembungkus beton. *Duct spacer* ini menggunakan material seperti baja ringan atau besi tulangan. Fungsi *duct spacer* konvensional sama seperti *duct spacer prefabricated*. Hal yang membedakan adalah pembuatan *duct spacer* konvensional dapat dilakukan di workshop secara swadaya atau mandiri, karena umumnya mudah dibuat dan material mudah ditemukan di pasaran atau toko bangunan terdekat. Berikut ini adalah contoh conventional position frame.



Gambar 3. 11 Conventional Position Frame (*Duct spacer*)

3.5 Analisis Waktu (Durasi Pekerjaan)

Analisis waktu atau durasi pekerjaan sangatlah berkaitan dengan proses penjadwalan proyek. Hal ini karena proses penjadwalan proyek akan memperlihatkan bagaimana metode pekerjaan, kebutuhan tenaga kerja dan peralatan, serta biaya yang diperlukan. Durasi pekerjaan ini akan dianalisis untuk menemukan durasi optimal. Berikut ini adalah manfaat dari analisis waktu yang didasarkan pada penjadwalan pekerjaan (Aulia, 2021).

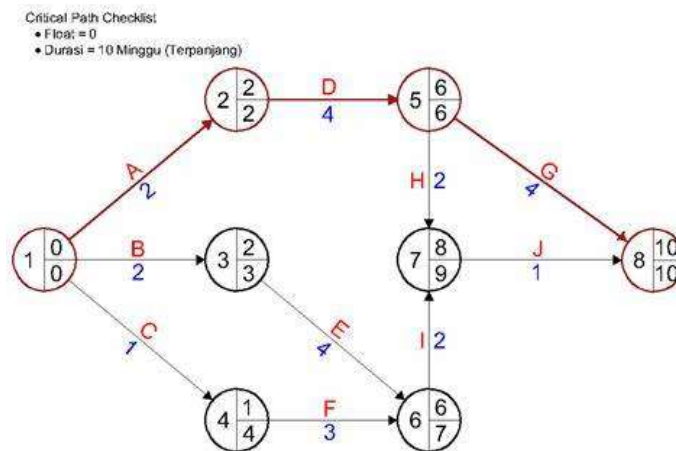
1. Mengetahui progress atau kemajuan pekerjaan
2. Evaluasi terhadap perubahan waktu penyelesaian proyek
3. Mengatur laju sumber daya proyek
4. Memaparkan tahapan, durasi, dan hubungan antar kegiatan pekerjaan

Analisis waktu dapat dilakukan dengan tabel dan diagram. Salah satu metode yang sering digunakan adalah Critical Path Method yang akan dijelaskan di bawah ini.

3.5.1 Critical Path Method

Analisis waktu dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah metode CPM (Critical Path Method). Metode CPM adalah teknik manajemen proyek yang mengidentifikasi tugas yang paling penting untuk menentukan fleksibilitas perencanaan. Metode CPM sangat sesuai pada pekerjaan yang memiliki durasi tidak terlalu berfluktuasi.

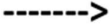
Metode CPM akan memperlihatkan jalur kritis suatu pekerjaan yang terjadi akibat antar kegiatan yang terikat. Jalur kritis adalah jalur yang memiliki komponen dengan durasi terpanjang dalam jaringan tetapi menunjukkan waktu penyelesaian proyek tercepat. Sehingga, jika ada kegiatan yang terlambat di dalam jalur kritis tersebut, maka proyek akan mengalami keterlambatan secara keseluruhan. Hal ini dikarenakan keterlambatan pada satu kegiatan membuat kegiatan berikutnya tidak dapat dikerjakan.

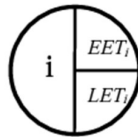


Gambar 3. 12 Jalur Kritis pada Metode CPM

Metode CPM dibuat dengan sistem network planning atau jaringan kerja. Jaringan kerja ini akan memuat 1) logika hubungan antar kegiatan menjadi lebih rinci dan detail, 2) penyediaan analisis untuk pengubahan sebagian dari proses, 3) pemaparan secara jelas waktu penyelesaian, dan 4) adanya metode activity on arrow dan activity on node (Aulia, 2021). Berikut ini adalah simbol-simbol network planning.

Tabel 3. 1 Simbol-simbol pada Metode CPM

Simbol	Keterangan	Arti
	Lingkaran = node	Menunjukkan suatu kejadian atau peristiwa.
	Anak panah = arrow	Menunjukkan sebuah kegiatan atau aktivitas yang memerlukan durasi. Baik panjang maupun kemiringan dari anak panah ini tidak mempunyai arti. Sehingga dalam penggambarannya tidak memerlukan skala.
	Anak panah terputus – putus = <i>dummy</i>	Menyatakan kegiatan semu atau <i>dummy</i> . Bedanya dengan kegiatan biasa, <i>dummy</i> tidak memerlukan durasi atau waktu. Penggambarannya pun tidak memerlukan skala.
	Anak panah tebal	Menunjukkan aktivitas pada lintasan kritis.



Gambar 3. 13 Aktivitas pada CPM

Pada jalur non kritis, metode CPM menunjukkan float. Float adalah batas toleransi keterlambatan suatu kegiatan yang dapat dimanfaatkan untuk optimasi waktu. Batas toleransi tersebut dapat dituliskan dengan jumlah waktu yang diperoleh dengan semua kegiatan yang terdahulu dimulai seawal mungkin dan kegiatan selanjutnya dimulai selambat mungkin.

Metode CPM dalam praktiknya tentu memiliki tahapan-tahapan pekerjaan. Berikut ini adalah tahapan perhitungan waktu pekerjaan dengan metode CPM (Aulia, 2021).

1. Membuat network sesuai hubungan antar kegiatan dengan durasi pekerjaan.
2. Memberikan nomor kegiatan dari depan sampai belakang
3. Melakukan perhitungan waktu ke depan untuk mendapatkan Earliest Event Time

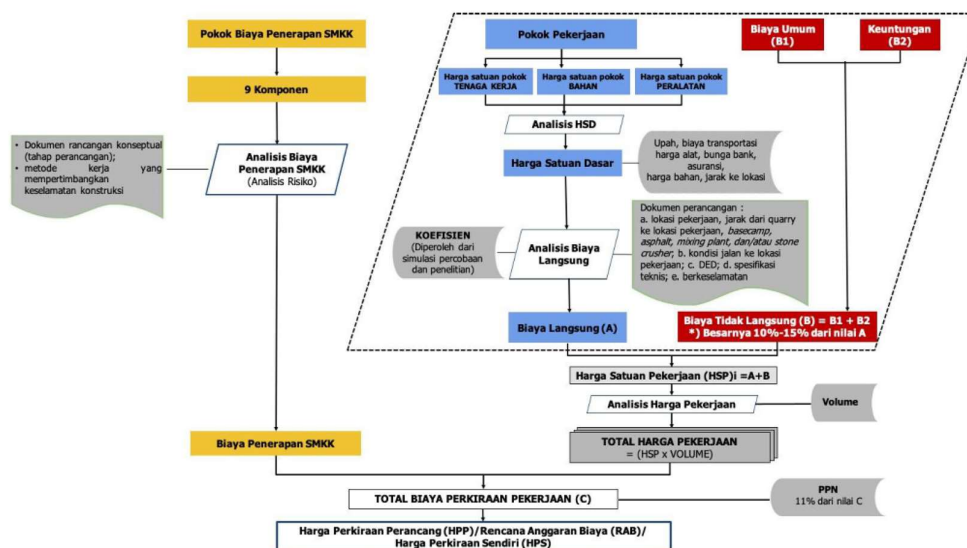
4. Melakukan perhitungan waktu ke belakang untuk mendapatkan Latest Event Time
5. Melakukan perhitungan activity time
6. Melakukan perhitungan float
7. Menggambarkan jalur kritis

3.6 Analisis Biaya Pekerjaan

Analisis biaya pekerjaan adalah proses yang sistematis untuk mengidentifikasi, menghitung, dan mengevaluasi semua biaya yang terkait dengan pelaksanaan suatu proyek konstruksi atau pekerjaan. Tujuannya adalah untuk menghasilkan perkiraan biaya yang akurat dan terinci untuk memungkinkan perencanaan anggaran yang tepat, pengendalian biaya yang efektif, dan pengambilan keputusan yang informatif selama seluruh siklus proyek.

Peraturan Menteri PUPR No. 8 Tahun 2023 memberikan kerangka kerja yang jelas dan terstruktur untuk melakukan analisis biaya pekerjaan dalam proyek konstruksi di Indonesia. Dengan mengacu pada regulasi ini, praktisi konstruksi dapat memastikan bahwa estimasi biaya mereka mematuhi standar nasional yang relevan, meminimalkan risiko kesalahan estimasi, serta meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam manajemen keuangan proyek.

Peraturan Menteri PUPR No. 8 Tahun 2023 memberikan acuan dalam perhitungan analisis harga satuan pekerjaan. Berikut ini adalah diagram terkait analisis harga satuan pekerjaan.

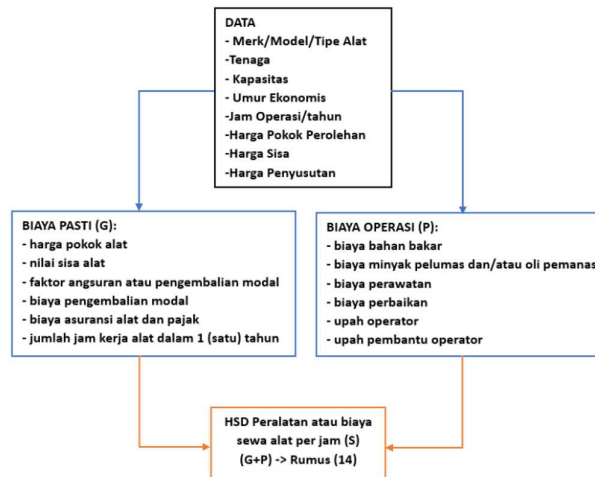


Gambar 3. 14 Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Berdasarkan diagram di atas, terdapat beberapa komponen penting yakni sebagai berikut:

1. Analisis Harga Satuan Dasar

Analisis harga satuan dasar (HSD) merupakan metode untuk menentukan biaya satu unit dari setiap item pekerjaan atau material yang dibutuhkan dalam proyek konstruksi. HSD didasarkan pada daftar harga yang ditetapkan oleh otoritas terkait, seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri PUPR No. 8 Tahun 2023. Proses ini melibatkan pengumpulan data harga dari sumber yang valid dan relevan untuk menjamin estimasi biaya yang akurat.



Gambar 3. 15 Diagram Analisi Harga Satuan Dasar

2. Biaya Langsung

Biaya langsung mencakup semua biaya yang secara langsung terkait dengan pelaksanaan pekerjaan fisik dalam proyek konstruksi. Ini termasuk biaya tenaga kerja langsung (upah dan insentif), biaya material konstruksi (bahan bangunan dan peralatan), serta biaya peralatan langsung yang digunakan dalam proses konstruksi.

3. Biaya Tidak Langsung

Biaya tidak langsung adalah biaya yang tidak langsung terkait dengan pelaksanaan fisik langsung dari pekerjaan konstruksi, tetapi tetap diperlukan untuk mendukung dan mengelola proyek secara keseluruhan. Contoh biaya tidak langsung termasuk biaya administrasi proyek, biaya perencanaan dan pengawasan, biaya perizinan, biaya asuransi, dan biaya umum lainnya yang tidak dapat langsung diatribusikan ke satu item pekerjaan spesifik.

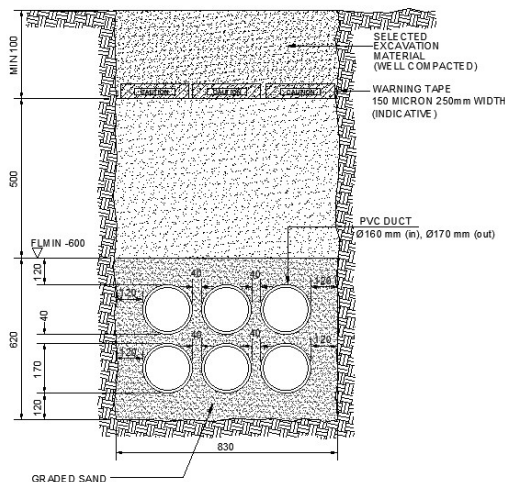
4. Biaya SMK3

Biaya SMK3 (Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja) merujuk pada biaya yang diperlukan untuk memenuhi standar dan persyaratan keselamatan dan kesehatan kerja yang ditetapkan. Biaya ini mencakup pengadaan peralatan keselamatan kerja, pelatihan keselamatan untuk pekerja, inspeksi kesehatan rutin, dan semua langkah lain yang diperlukan untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman dan sehat bagi semua pekerja proyek.

Analisis biaya satuan pekerjaan yang mendalam dengan mempertimbangkan Peraturan Menteri PUPR No. 8 Tahun 2023 adalah kunci untuk memastikan keberhasilan proyek konstruksi. Memahami konsep-konsep seperti analisis harga satuan dasar, biaya langsung, biaya tidak langsung, dan biaya SMK3 tidak hanya memenuhi persyaratan regulasi, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan yang tepat dan efisien dalam manajemen proyek. Analisis harga satuan pekerjaan saat ini tidak hanya mengakomodasi biaya pekerjaan, melainkan mempertimbangkan keselamatan kerja.

3.7 Metode Konstruksi di Pekerjaan Underground *Ducting* di Proyek Bandara Kediri dengan Pemasangan *Duct spacer*

Metode konstruksi diperlukan agar tim produksi atau tim lapangan dapat melaksanakan pekerjaan sesuai dengan spesifikasi dan gambar kerja. Terdapat 2 jenis material timbunan untuk konstruksi *ducting* di Bandara Kediri, yakni tanah pasir dan beton. Dua jenis konstruksi tersebut menggunakan *duct spacer* sebagai pembatas antar pipa *ducting* seperti pada gambar di bawah ini.



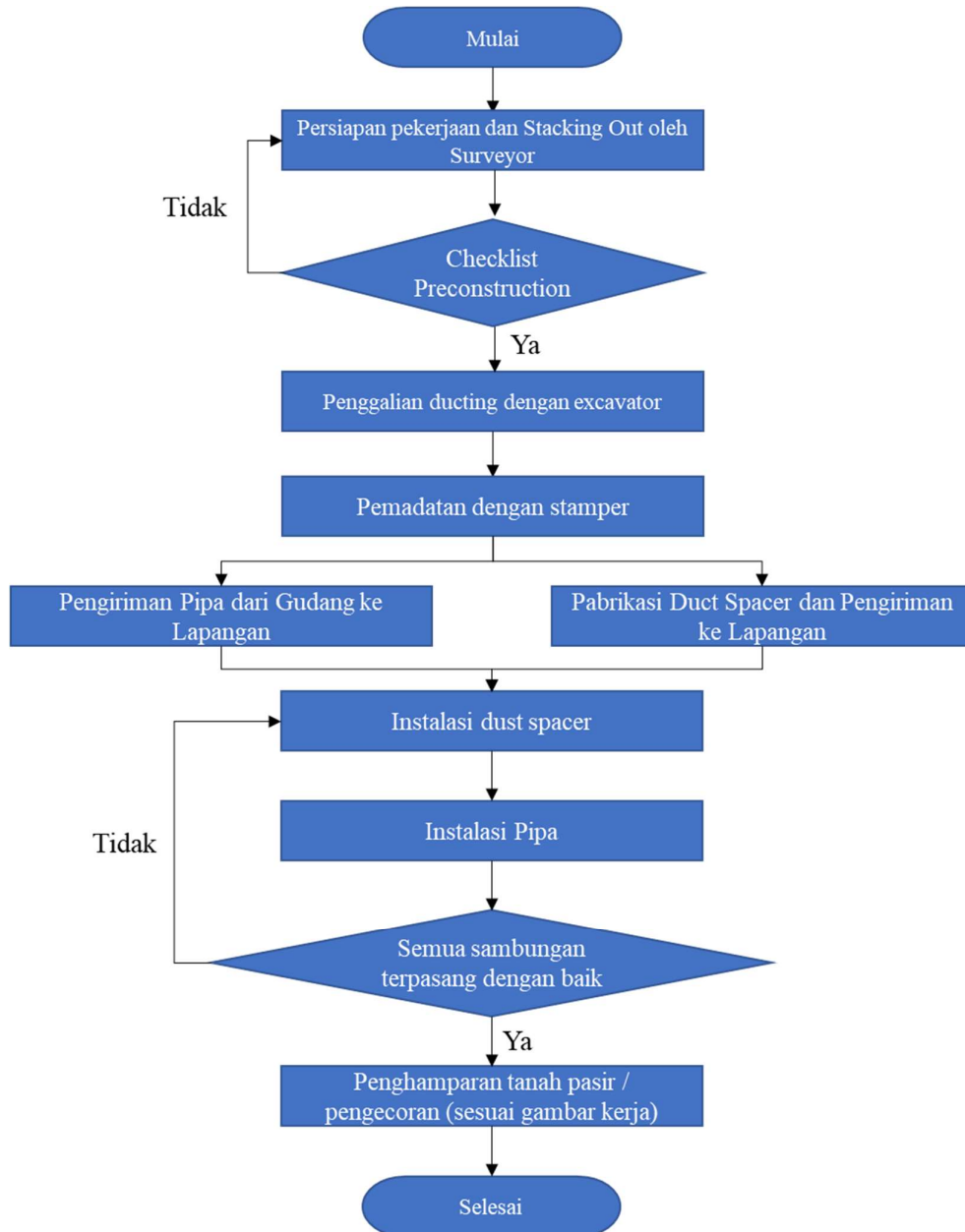
Gambar 3. 16 Tipikal Detail *Ducting* Bandara Kediri

Berdasarkan Gambar 3.16, terdapat beberapa material yang akan digunakan dalam pembuatan *ducting* yakni sebagai berikut:

1. Pipa PVC diameter (in) Ø16cm, (out) Ø17cm- AW class (minimum tensile strength 500 kg/cm², impact strength 5 kg/cm², supplied in standard 6 m lengths)
2. Graded sand of *ducting* (as specified in ASTM D 2487)

3. Concrete $f_c' = 20 \text{ MPa}$
4. Positioning frame use *Duct pipe spacer*, material: Plastic, thickness = 2 mm
5. Warning tape 150 micron 250mm width (indicative)

Berikut ini adalah flowchart terkait metode kerja pembuatan *ducting* dengan *duct spacer* di Bandara Kediri yang ditunjukkan pada **Error! Reference source not found..**



Gambar 3. 17 Flowchart Pekerjaan *Ducting*

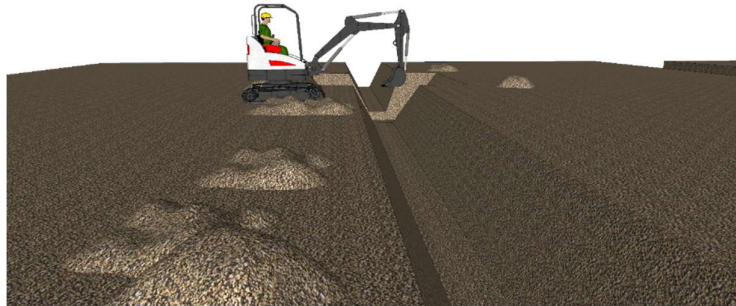
Berikut ini adalah penjelasan metode kerja yang ditunjukkan pada Gambar 3. 17
Flowchart Pekerjaan *Ducting*:

1. Melakukan persiapan pekerjaan yang meliputi izin kerja, jadwal pekerjaan, dan dokumen HSE. Melakukan pekerjaan survei yang meliputi stake out lokasi pekerjaan.



Gambar 3. 18 Pekerjaan Survei

2. Melakukan pekerjaan galian dengan kedalaman sesuai gambar kerja. Kemiringan lereng galian adalah 1:0.3 dengan tipikal kedalaman galian 1,2m.



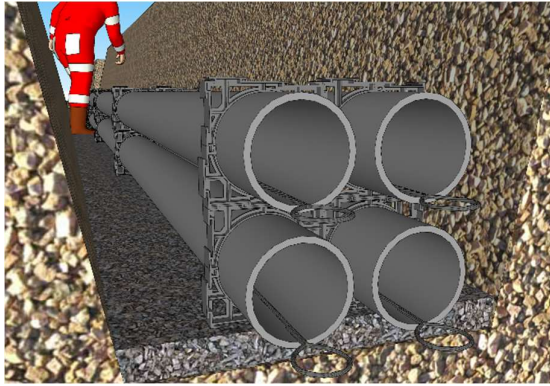
Gambar 3. 19 Penggalian

3. Melakukan pemadatan pada dasar galian dengan stamper.



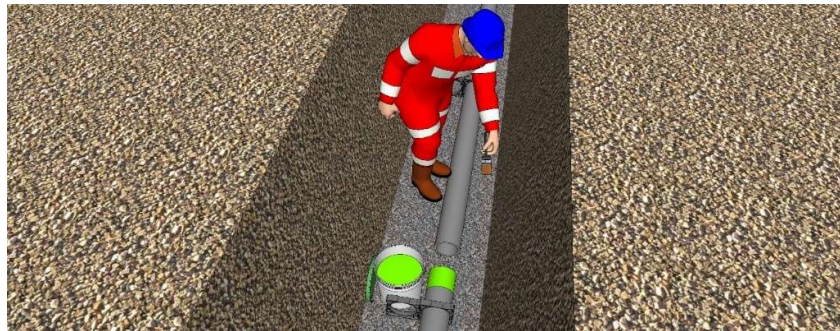
Gambar 3. 20 Pemadatan Dasar Galian dengan Stamper

4. Melakukan instalasi *duct spacer* sesuai dengan alternatif desain yang dipilih sesuai hasil analisis. Instalasi dilakukan secara satu satu secara langsung di lapangan. Sehingga semua material pipa dan *duct spacer* yang sudah diapprove konsultan dapat dikirim langsung ke lapangan.



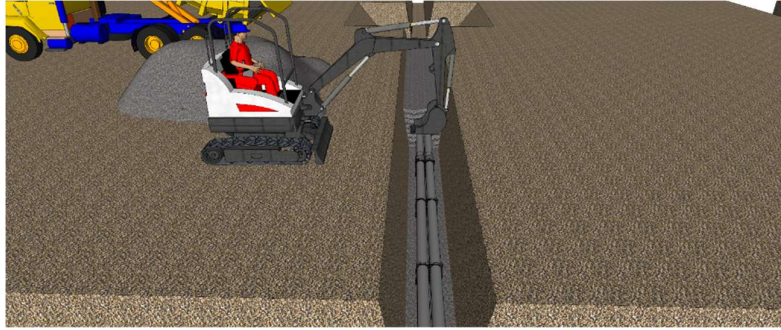
Gambar 3. 21 Ilustrasi Pemasangan *Duct spacer*

5. Menambahkan waterproof cement pada sambungan pipa. Setelah selesai, cek semua sambungan dan pipa, apakah pipa melengkung atau tidak, apakah ada sambungan yang tidak rekat.



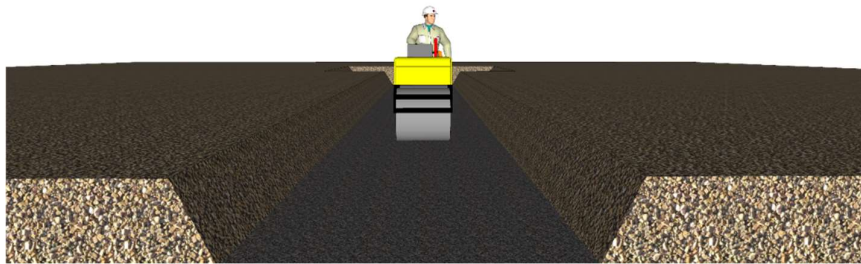
Gambar 3. 22 Penambahan waterproof cement pada Sambungan Pipa *Ducting*

6. Selanjutnya, melakukan penghamparan tanah pasir atau pengecoran dengan beton sesuai dengan gambar kerja. Jika dilakukan penghamparan tanah pasir, maka tanah pasir perlu dipadatkan dengan baby roller atau stamper. Jika dilakukan pengecoran beton, maka pekerja perlu menggunakan vibrator agar padat.



Gambar 3. 23 Penghamparan Tanah Pasir atau Pengecoran dengan Beton Sesuai dengan Gambar Kerja

7. Tahap selanjutnya adalah penghamparan dan pemadatan material timbunan dan pemasangan water tape sesuai dengan gambar kerja.



Gambar 3. 24 Penghamparan dan Pemadatan Material Timbunan

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Uraian Umum

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode kerja dengan aplikasi *duct spacer* pada pekerjaan pipa kabel AFL bawah tanah di pembangunan Bandar Udara Kediri. Pengembangan material ini bertujuan dihasilkannya metode kerja yang tepat dengan aplikasi material *Duct spacer* yang kuat, terbuat dari material yang tahan lingkungan, ringan sehingga mudah transportasinya, mudah instalasi dan kokoh hasil instalasinya serta memiliki nilai penjualan yang bagus. Hasil dari penelitian ini diharapkan pekerjaan pipa bawah tanah untuk kabel AFL dapat memenuhi kriteria teknis konsultan perencana dan harapan dari pemilik pekerjaan di Proyek Bandara Kediri.

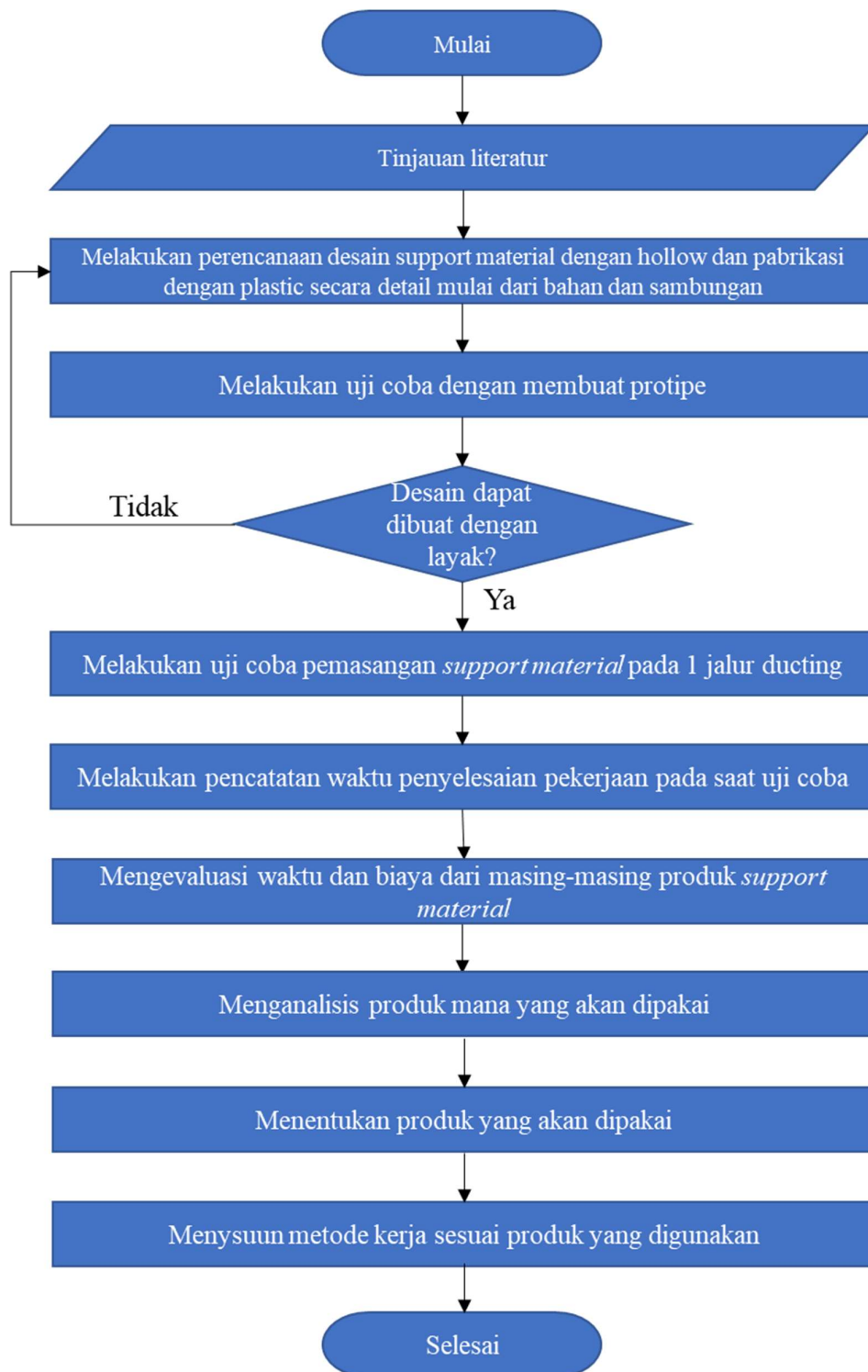
4.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dan komparatif. Metode deskriptif adalah metode yang menggambarkan suatu fenomena secara faktual dan akurat. Metode komparatif adalah metode yang dilakukan dengan membandingkan dua situasi atau objek. Kedua metode ini digunakan untuk mendeskripsikan dan membandingkan desain *Duct spacer* yang tepat dan akan digunakan dalam pekerjaan pipa kabel AFL.

4.3 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini membutuhkan data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif dalam penelitian ini berupa spesifikasi teknis *Duct spacer*, pengukuran durasi pemasangan, harga material penyusunnya, sedangkan data kualitatif berupa gambar desain, shop drawing, video pemasangan *Duct spacer* di lapangan. Data kuantitatif diperoleh melalui studi dokumen teknis proyek, informasi harga material bangunan dan pengamatan lapangan. Data kualitatif diperoleh melalui membaca literatur.

4.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan pada diagram diatas, berikut pembahasan terkait diagram alir penelitian tersebut.

1. Melakukan tinjauan literatur berupa Gambar DED, forcon drawing dan standar/*code*, dan karakteristik material yang akan dipakai.
2. Melakukan perencanaan desain support material baik yang menggunakan *hollow* atau pabriksi dengan plastik. Perencanaan akan dibuat lengkap dari spesifikasi teknis, sistem pemasangan, sistem sambungan.
3. Melakukan uji coba pada desain perencanaan untuk melihat apakah layak atau tidak. Indikator kelayakan seperti apakah sambungan kuat atau tidak, sistem interlocking mudah dipasang atau tidak.
4. Melakukan uji coba pemasangan pada 1 jalur *ducting* dengan desain yang layak sesuai hasil analisis pada prototipe,
5. Pengukuran waktu pemasangan pada saat uji coba.
6. Evaluasi waktu dan biaya dari masing-masing alternatif produk.
7. Menganalisis produk mana yang akan dipakai berdasarkan evaluasi waktu dan biaya. Analisis waktu berdasarkan langkah 5. Pada analisis waktu akan terlihat produk mana yang lebih mudah dilakukan. Analisis biaya meliputi biaya dari produktivitas pekerja dan harga material.
8. Menentukan produk yang akan dipakai berdasarkan hasil analisis mutu dan biaya dari masing-masing produk.
9. Menyusun metode kerja sesuai produk yang digunakan.

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Desain *Duct spacer* dengan Material *Prefabricated* (PVC) dan *Hollow* Baja Ringan untuk Pekerjaan Pipa Kabel Bawah Tanah (Underground)

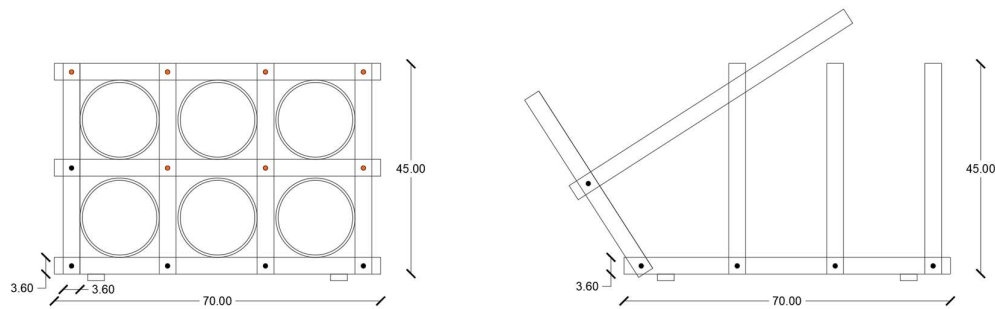
Sesuai dengan pembahasan pada subbab 3.7 Metode Konstruksi di Pekerjaan Underground *Ducting* di Proyek Bandara Kediri dengan Pemasangan *Duct spacer*, maka desain *duct spacer* harus memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut. Peneliti telah melakukan beberapa trial and error untuk membuat desain yang siap digunakan. Berikut ini adalah pembahasan desain final yang akan digunakan dalam pekerjaan *ducting* di Bandara Kediri.

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *duct spacer* akan mempermudah pemasangan pipa *ducting*. Pipa *ducting* menjadi lurus tidak melengkung yang diakibatkan penghamparan tanah pasir atau gaya apung yang terjadi saat pengecoran. Namun, hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan model *duct spacer* adalah sebagai berikut:

1. Lokasi pemasangan sempit, sehingga desain *duct spacer* harus mudah-pasang dan ringkas.
2. Jadwal pelaksanaan yang sempit, sehingga *duct spacer* perlu dibuat dengan sederhana tetapi kuat dalam menahan beban pipa dan beban saat pekerjaan.
3. Model *duct spacer* harus fleksibel terhadap 3 tipe formasi pipa sesuai gambar kerja.

5.1.1 Desain *Duct spacer* dengan *Hollow* Baja Ringan

Duct spacer dengan *Hollow* Baja Ringan akan dipabrikasi secara mandiri di lokasi proyek. Material *hollow* baja ringan yang digunakan adalah HL 14 x 36 tebal 0.25mm. Berikut ini adalah desain *duct spacer* dengan material *hollow* baja ringan.



Gambar 5. 1 Desain *Duct spacer* dengan *Hollow* Baja Ringan

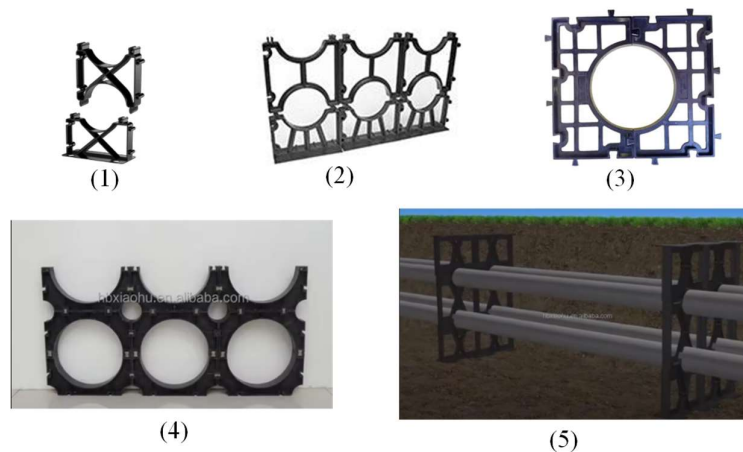
Sesuai gambar diatas, rangka *duct spacer hollow* baja ringan memiliki kaki untuk menopang rangka tersebut sehingga dapat memudahkan pemasangan pipa *ducting*. Terdapat 2 warna baut yakni baut hitam dan oranye. Baut hitam adalah sambungan yang dibaut di gudang pabrikasi dan baut oranye adalah sambungan yang dibaut di lokasi proyek saat pemasangan. Baut di sisi pojok kiri seperti pada gambar di atas (kanan) menjadi “engsel” sehingga rangka dapat dibuka-tutup. Rangka dibuat sedemikian rupa agar dapat meminimalkan pekerjaan pembautan di lapangan dan mengurangi kemungkinan adanya bagian-bagian *hollow* yang terpisah pada saat pengiriman. Namun, perlu adanya cover atau proteksi pada bagian ujung-ujung baut yang terlihat seperti pada gambar di bawah ini. Hal ini dikarenakan risiko pekerja tergores menjadi ada terlepas penggunaan APD berupa sarung tangan.



Gambar 5. 2 Baut yang Terekspose Memiliki Risiko Pekerja Tergores

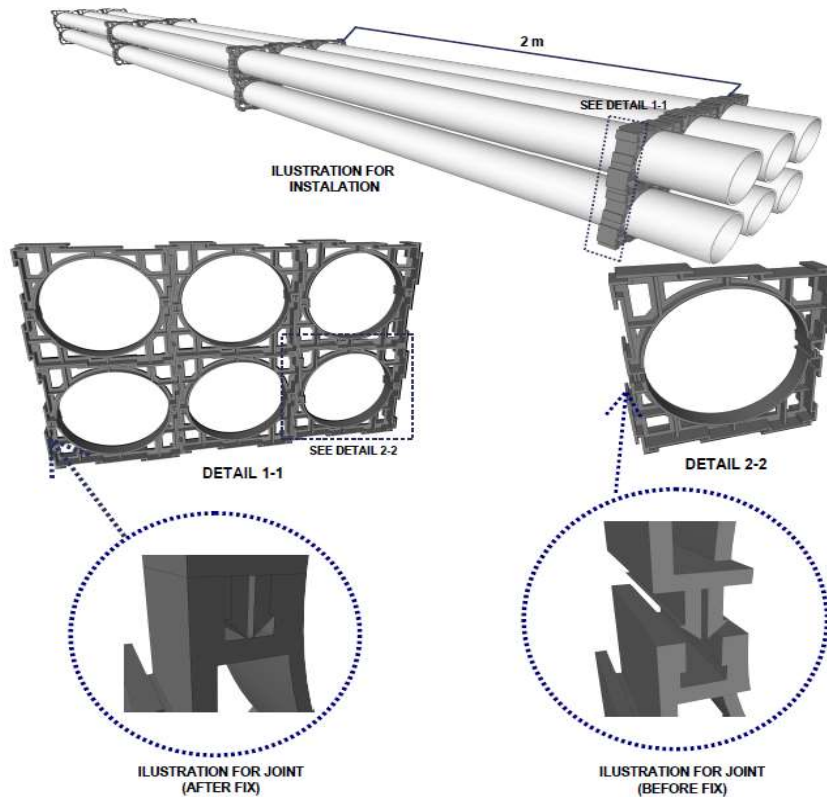
5.1.2 Desain *Duct spacer* dengan *Prefabricated* (PVC)

Di Luar Negeri, penggunaan *duct spacer* berbahan PVC sudah sangat familiar. Bentuk dan ukuran dari *Duct spacer* beraneka ragam menyesuaikan ukuran dan jarak yang dibutuhkan. Meskipun demikian, *Duct spacer* terbuat dari bahan plastik atau PVC dengan ketebalan tertentu. Setiap pabrik juga memiliki bentuk yang beraneka ragam dan memiliki sistem sambungan yang beraneka ragam juga. Beberapa bentuk position frame yang penulis himpun dari beberapa sumber antara lain;



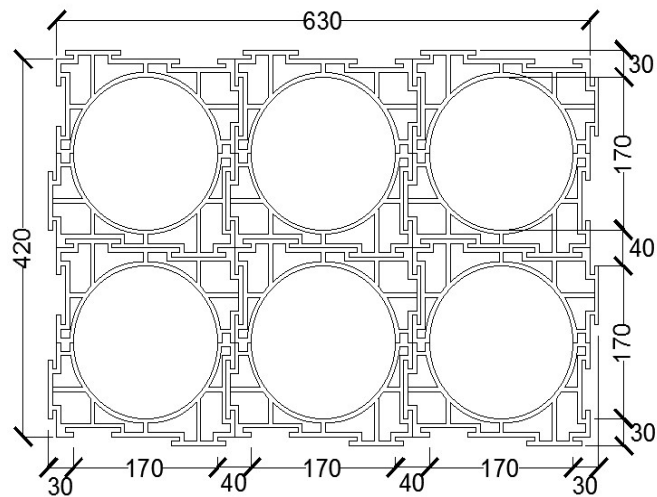
Gambar 5. 3 Position frame dari Pabrik beberapa Negara di Asia

Berdasarkan metode kerja yang telah dijelaskan sebelumnya, maka *duct spacer* perlu dibagi menjadi 2 bagian, yakni sisi atas dan sisi bawah. Hal ini bertujuan sisi bawah akan menopang pipa *ducting* terlebih dahulu. Setelah pipa *ducting* duduk, maka akan dilakukan pemasangan bagian atas. Hal ini membuat sistem interlocking harus mampu dipasang dari atas. Berikut ini adalah desain final *ducting spacer* yang memenuhi syarat tersebut.

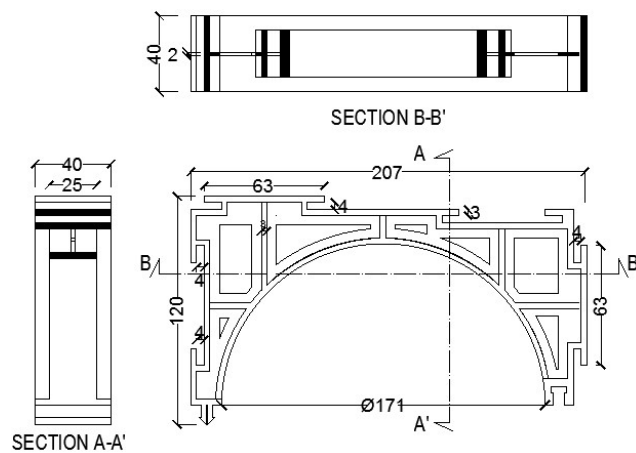


Gambar 5. 4 *Duct spacer* dengan PVC

Seperti yang terlihat pada gambar Gambar 5. 4 – detail 1-1, sambungan samping antar material *ducting* dibuat pergerakannya maju-mundur. Hal ini bertujuan memperkuat sambungan samping dari pergerakan saat pipa akan dipasang. Sambungan sisi samping pun dibuat sedemikian rupa, sehingga pabrik hanya akan membuat 1 tipe model tetapi dapat fleksibel terhadap formasi susunan pipa. Sambungan bagian atas dan bawah dibuat berbentuk “klik” dari atas seperti pada detail 2-2. Hal ini karena lokasi pekerjaan yang sempit, membuat pergerakan yang paling memungkinkan adalah pekerja menekan bagian atas supaya menyatu dengan bagian bawah. Rangka dari PVC pun dibuat rigid, sehingga mampu menopang material dengan baik. Hal lain yang diperhatikan di sini adalah jarak pemasangan 2 meter. Jarak tersebut merupakan jarak ideal dan ekonomis, sehingga pipa tidak melendut dan stabil (hasil uji coba experimental). Berikut ini adalah detail dimensi *duct spacer* dengan material PVC yang ditunjukkan pada Gambar 5. 5 dan Gambar 5. 6.



Gambar 5. 5 Dimensi *Duct Pipe Spacer*



Gambar 5. 6 Detail *Duct spacer*

Pabrik akan membuat *duct spacer* sesuai Gambar 5. 6. Kemudian *duct spacer* akan dirangkai sesuai formasi susunan pipa, tetapi bagian atas dan bawah akan disambung di lapangan. Material yang akan digunakan adalah Polytam PF 1000 yang merupakan polymer dengan sifat sebagai berikut:

1. Visual lebih bersih
2. Tahan lama
3. Kemampuan menyesuaikan bentuk

Material ini merupakan material yang diproduksi massal oleh PT. Pertamina (Persero) dalam bentuk kristal bening yang memiliki ukuran sebesar biji pepaya, kering, tidak berbau, dan tekstur padat. Berikut ini adalah visual dan material properties dari PF 1000.

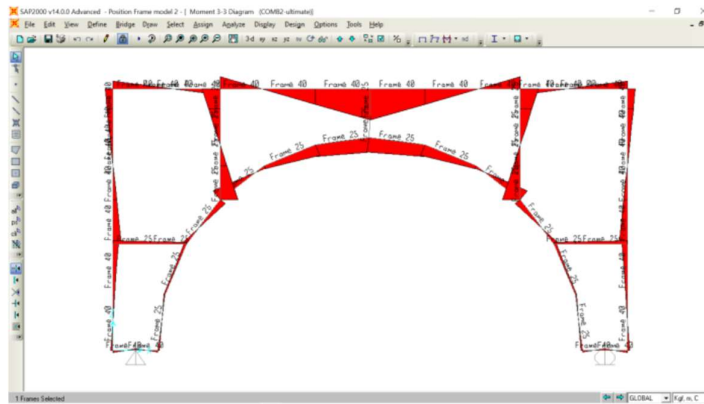


Gambar 5. 7 Polytam

Tabel 5. 1 Properties Material PF 1000

No	Parameter	Test method (ASTM)	Unit (satuan)	PF 1000
1	Melt Flow Rate @230 ⁰ C	D1238	g/ 10 min	10
2	Density	D1505	g/cm ³	0,90
3	Melting Temperature	D3418	⁰ C	165
4	Tensile Yield Strength	D638	Kgf/cm ³	Min. 370
5	Tensile Yield Elongation %	D638	%	Min. 13
6	Flexural Modulus	D790	Kgf/cm ³	Min. 15.500

Tim engineering pun telah melakukan perhitungan terkait kekuatan nominal dari *duct spacer* yang ada. Perhitungan tersebut menyimpulkan bahwa *duct spacer* memiliki kuat geser nominal 399kg dan momen nominal 266 kg.cm. Dalam hal ini, *duct spacer* sudah memenuhi syarat yang dibutuhkan dimana, *duct spacer* mampu menahan beban tanah jenuh maksimal 162 cm tetapi tidak untuk menahan beban kendaraan. Nantinya beban kendaraan akan ditopang oleh timbunan cor beton. Berikut ini adalah tipikal gambar diagram gaya-gaya dalam pada *duct spacer* .



Gambar 5. 8 Diagram Gaya-gaya Dalam *Duct spacer* PVC

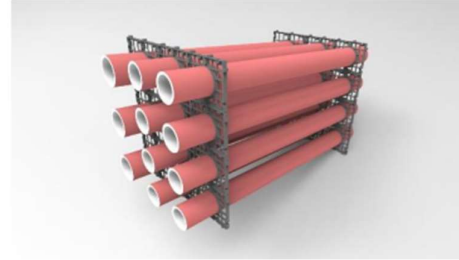
5.2 Analisis Biaya dan Waktu terkait *Duct spacer* dengan Material *Prefabricated* (PVC) dan *Hollow* Baja Ringan.

Subbab ini akan membahas terkait biaya dan waktu untuk pekerjaan *duct spacer* dengan material PVC dan *Hollow* Baja Ringan. Analisis meliputi pada waktu pengadaan material baik produksi dalam negeri dan luar negeri, dan waktu pemasangan secara experimental.

5.2.1 Analisis Waktu Pengadaan *Duct spacer*

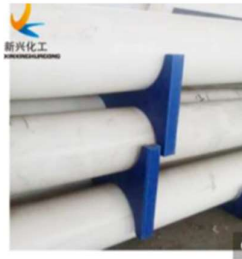
Kebutuhan *duct spacer* di Proyek Bandara Kediri adalah 175.000 buah. Analisis waktu pengadaan *duct spacer* meliputi waktu produksi dan waktu pengiriman. Pengadaan *duct spacer* dengan material *hollow* akan diproduksi mandiri oleh tim lapangan, sehingga tidak akan mempengaruhi proses pengiriman material. Pengadaan *duct spacer* berbahan PVC baik produksi dalam negeri maupun dari luar negeri membutuhkan waktu produksi dan pengiriman. Hal yang berbeda adalah belum ada produsen manufaktur yang pernah membuat *duct spacer*, sehingga membutuhkan waktu produksi lebih lama untuk produksi molding (cetakan) *duct spacer*, sedangkan produksi luar negeri sudah siap molding. Namun, produksi luar negeri memiliki kelemahan terhadap pengiriman harus dilakukan ketika produksi sudah selesai semua. Produksi dalam negeri mampu mengirim secara parsial. Berikut ini adalah produsen manufaktur *duct spacer* yang telah menjadi kandidat untuk pemesanan *duct spacer* :

1. Tecafine Polymers Pvt. Ltd. yang beralamat di Time Square 2, Office no: 502, 5th Floor, 150 Feet Ring Road, opp. Synergy Hospital Rajkot – 360005, Gujarat India.



Gambar 5. 9 Logo dan *Duct spacer* dari Tecafine

2. Shandong Ningjin Xinxing Chemical Co. Ltd., yang beralamat di Liaohe Road, Ningjin Industry Zone, Dezhou, Shandong, China 253400



Gambar 5. 10 *Duct spacer* dari Shandong Ningjin Xinxing Chemical

3. PT. Kharisma Plastik yang beralamat di Jl. Cigondewah Kaler No. 53, Cigondewah Kaler, Kec. Bandung Kulon, Kota Bandung, Jawa Barat
4. *Duct spacer* dengan material *hollow* baja ringan diproduksi oleh PT. Wijaya Karya

Berdasarkan data yang dikumpulkan dari tim pengadaan proyek maka dibutuhkan waktu produksi sebagai berikut:

Tabel 5. 2 Analisis Waktu Pengadaan *Duct spacer*

No.	Perusahaan Asal	Waktu (hari)						Total Waktu
		Molding	Produksi		Pengiriman Material		Port -> Onsite	
			Tahap I	Tahap II	Tahap I	Tahap II		
1	India	-	35	-	25		12	72
2	China	-	30	-	20		12	62
3	Indonesia	20	15	15	3	3	-	56
4	Mandiri (Hollow)	-	100*	-	-	-	-	100

* dapat dilakukan kontinu di lapangan

Tabel 5. 2 menunjukkan perbandingan waktu pengadaan *duct spacer* hingga sampai di lokasi proyek. Pada poin 1, 2, dan 3 merupakan perusahaan yang

memproduksi *duct spacer* material PVC. Perusahaan India membutuhkan waktu produksi lebih lama 5 hari daripada produksi China dan Indonesia. Namun, secara keseluruhan waktu produksi Perusahaan Indonesia membutuhkan waktu total 50 hari karena membutuhkan waktu pembuatan molding. Agar tim produksi tetap bisa bekerja, maka perusahaan Indonesia diminta untuk melakukan pengiriman sejumlah 2 tahap. Sehingga, tim produksi dapat menggunakan *duct spacer* yang ada terlebih dahulu.

Jika melihat secara keseluruhan waktu pengadaan *duct spacer* hingga sampai di lokasi proyek, perusahaan dari Indonesia memiliki waktu yang paling cepat, yakni 56 hari. Hal ini dikarenakan perusahaan dari Indonesia tidak perlu melakukan aktivitas bongkar-muat di pelabuhan yang relatif lama (berdasarkan pengalaman produsen). Waktu pengiriman pun dari luar negeri ke Indonesia relatif lebih lama, karena pengiriman dilakukan menggunakan kapal (pemilihan didasarkan pada perhitungan ekonomis).

Untuk produksi *duct spacer* dengan material *hollow* membutuhkan waktu selama 350 hari, dengan target produksi 500 set per hari. Produksi mandiri ini memiliki keuntungan yakni material sudah onsite. Namun, tim proyek memberikan catatan khusus terhadap *duct spacer* jenis ini yakni tidak fleksibel jika akan dilakukan percepatan pekerjaan di lapangan, mengingat target tersebut sudah membutuhkan tenaga sekitar 7 orang untuk 8 jam kerja.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka produksi *duct spacer* di Indonesia menjadi pilihan yang paling baik. Hal ini dikarenakan waktu produksi-pengiriman hingga sampai di lokasi proyek paling cepat dan tidak menimbulkan critical path yang baru.

5.2.2 Analisis Waktu Penyelesaian Pekerjaan Underground Ducting

Analisis waktu pun dilakukan pada waktu penyelesaian pekerjaan *ducting* baik menggunakan *duct spacer* material PVC atau *duct spacer* dengan *hollow* baja ringan. Analisis waktu penyelesaian pekerjaan dilakukan dengan cara melakukan trial dengan pipa 6 meter formasi 2 x 3 yang dipasang 3 *duct spacer*.

Tabel 5. 3 Hasil Uji Coba Penyelesaian Pekerjaan *Ducting* dengan *Duct spacer*

No.	Duct Spacer	Waktu (detik)			
		Uji Coba I	Uji Coba II	Uji Coba III	Rata-rata
1	Hollow	416			416
2	PVC	143	109	113	122

Uji coba dilakukan sebanyak 1 kali untuk *duct spacer* dengan material *hollow* dan 3 kali untuk *duct spacer* dengan material PVC. Uji coba pada *duct spacer* PVC dilakukan sebanyak 3 kali agar pekerja familiar dengan *duct spacer* yang ada, sehingga waktu pekerjaan dapat dilihat secara baik. Hal ini ditunjukkan dimana, pekerjaan menjadi lebih cepat pada uji coba II dan uji coba III. Secara keseluruhan, pekerjaan *duct spacer* PVC memiliki kecepatan yang lebih baik daripada *duct spacer hollow* baja ringan. Hal ini dikarenakan *duct spacer* PVC tidak melakukan pekerjaan pembautan yang relatif sering mengalami kendala. Dampak positif penggunaan *duct spacer* PVC adalah pekerjaan menjadi lebih cepat 3 kali lipat daripada pekerjaan dengan *duct spacer hollow* baja ringan.

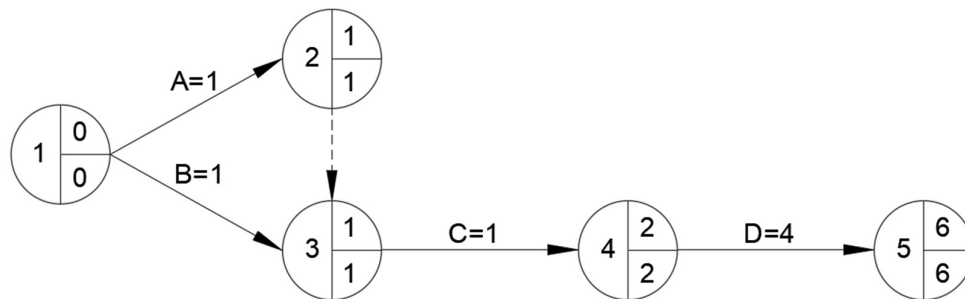
Hasil analisis di atas ditindaklanjuti kembali untuk menganalisis keuntungan penggunaan *duct spacer* PVC daripada *duct spacer* konvensional. Analisis dilanjutkan dengan mempertimbangkan target produksi dari tim proyek yakni sebagai berikut:

1. Pekerjaan galian *ducting* (1 unit Excavator PC-200): 100 m/hari
2. Pekerjaan instalasi pipa dengan *duct spacer* : 100 m/hari
3. Pekerjaan backfill dan pemadatan: 25 m/hari.
4. Pengadaan *duct spacer* PVC: 0 hari (pengadaan dari pabrik)
5. Pengadaan *duct spacer* konvensional: 200 m/hari

Target tersebut merupakan hasil diskusi dan best practice tim proyek, dimana target tersebut wajib dipenuhi yang disertai kelengkapan dokumen approval dari konsultan. Berikut ini adalah durasi pekerjaan *ducting* untuk panjang 100m dengan *duct spacer* konvensional dan *prefabricated* dengan jumlah 1 tim instalasi *ducting* dan 1 tim pekerjaan backfill.

Tabel 5. 4 Durasi Pekerjaan *Ducting* dengan *Duct spacer* Konvensional

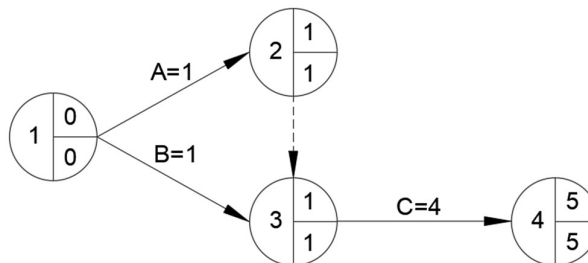
No.	Uraian Pekerjaan	Kap. Produksi (m/hari)	Durasi Pekerjaan 100 m	Hari					
				1	2	3	4	5	6
1	Penggalian (A)	100	1	■					
2	Pabrikasi Duct Spacer (B)	200	1	■					
2	Instalasi Pipa (C)	100	1		■				
3	Backfill (D)	25	4			■	■	■	■



Gambar 5. 14 Durasi Pekerjaan *Ducting* dengan *Duct spacer* Konvensional

Tabel 5. 5 Durasi Pekerjaan *Ducting* dengan *Duct spacer* Prefabricated

No.	Uraian Pekerjaan	Kap. Produksi (m/hari)	Durasi Pekerjaan 100 m	Hari				
				1	2	3	4	5
1	Penggalian (A)	100	1	■				
2	Instalasi Pipa (B)	100	1	■				
3	Backfill (C)	25	4		■	■	■	■

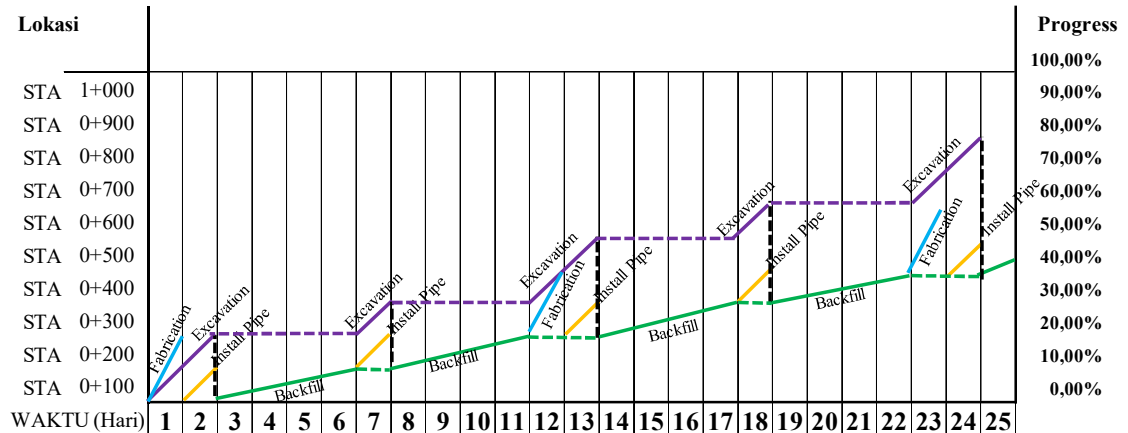
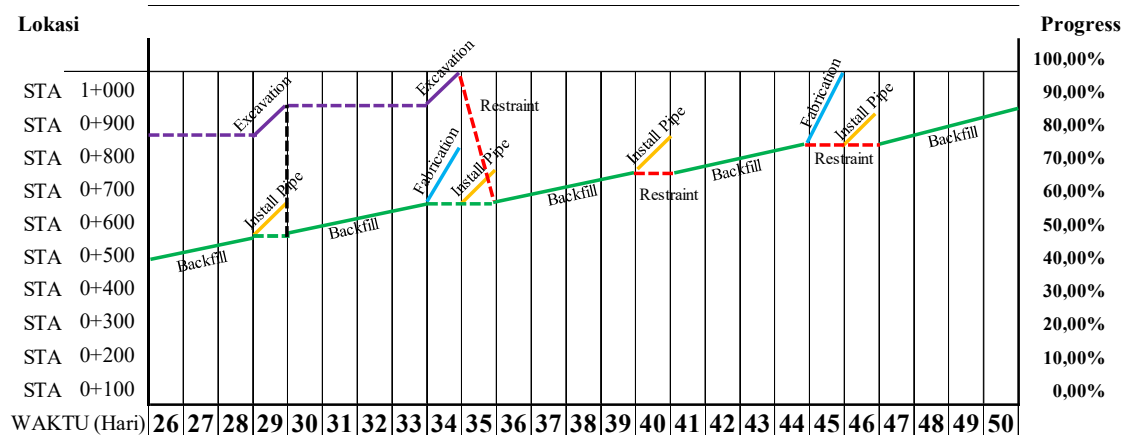


Gambar 5. 15 Durasi Pekerjaan *Ducting* dengan *Duct spacer* Prefabricated

Berdasarkan tabel dan gambar di atas, dapat diketahui bahwa durasi pekerjaan *ducting* dengan *duct spacer prefabricated* lebih cepat daripada *duct spacer* konvensional. Hal ini dikarenakan tim dapat langsung menggunakan *duct*

spacer prefabricated (sudah tersedia) tanpa perlu membuat *duct spacer* konvensional. Untuk mengetahui dampak float tersebut, analisis dilakukan dengan membuat schedule selama 50 hari seperti pada tabel di bawah ini.

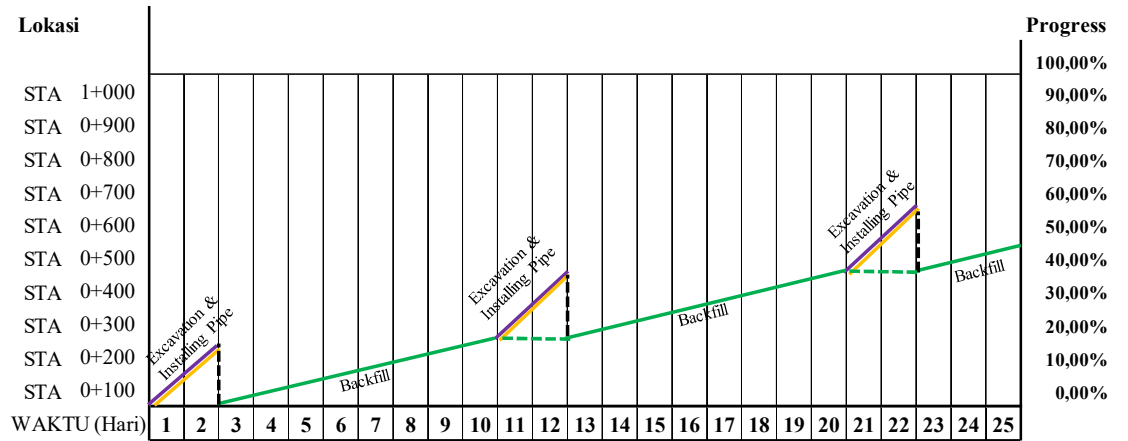
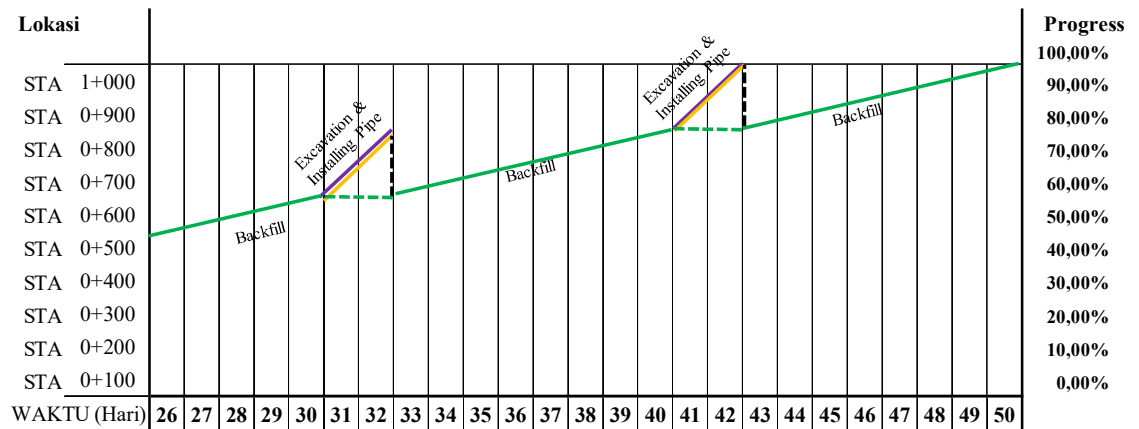
Tabel 5. 6 Penjadwalan Pekerjaan *Duct spacer* Konvensional selama 50 Hari



Legenda;

- Duct Spacer Fabrication
- Excavation
- Installing Pipe
- Backfill
- - - Jarak Buffer
- - - Waktu Buffer Pek. Galian
- - - Waktu Buffer Pek. Backfill
- - - Restraint (idle excavator karena menunggu pek. Install pipa)

Tabel 5. 7 Penjadwalan Pekerjaan *Duct spacer Prefabricated* selama 50 Hari



Legenda:

- Excavation
- Installing Pipe
- Backfill
- - - Jarak Buffer (Penyangga)
- - - Waktu Buffer (Penyangga)

Tabel 5. 6 dan Tabel 5. 7 menunjukkan flow pekerjaan *ducting* selama 50 hari dengan menggunakan linear scheduling methode untuk 1000 m pekerjaan *ducting spacer* selama 50 hari. Pada penjadwalan tersebut menggunakan 1 tim pekerjaan terdiri dari 2 tukang, 4 pekerja harian, dan 1 alat berat (excavator dan stamper). Tim bekerja pada pekerjaan galian, pabrikasi *duct spacer* , instalasi pipa, dan backfill. Pekerjaan galian dan pekerjaan backfill membutuhkan alat berat sehingga tidak dapat dikerjakan bersama. Pekerjaan galian dan pekerjaan

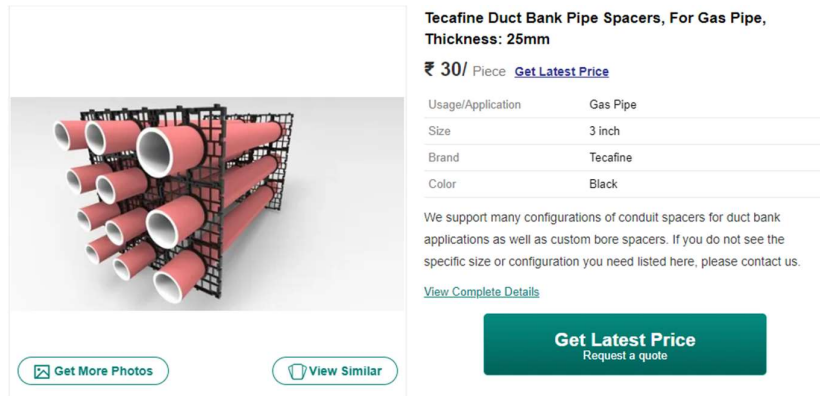
pengadaan *duct spacer* atau instalasi pipa dapat dikerjakan bersamaan, mengingat pekerjaan tersebut tidak memerlukan tukang atau pekerja secara bersamaan.

Berdasarkan Tabel 5. 7, pekerjaan instalasi pipa dengan *duct spacer prefabricated* sepanjang 1000 m selesai dalam waktu 50 hari. Pekerjaan galian yang sudah selesai memberikan ruang kerja pada pekerjaan instalasi pipa, sehingga dapat dilakukabn bersamaan. Hasil analisis pada Tabel 5. 7 memberikan hasil bahwa tidak ada idle alat berat yang memberikan kerugian pada proyek.

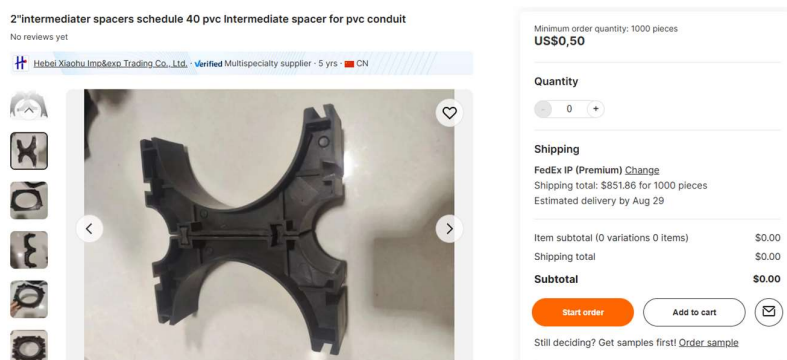
Pada Tabel 5. 6, pekerjaan pabrikasi *duct spacer* konvensional menghambat pekerjaan instalasi pipa. Pada penggunaan *duct spacer prefabricated* critical path berada pada pekerjaan galian, tetapi pada penggunaan *duct spacer* konvensional critical path berada pada pekerjaan pabrikasi *duct spacer* . Hari ke-34, galian sudah mencapai 1000 m, tetapi pekerjaan instalasi pipa dan backfill selesai di 600 m. Hal ini berarti ada 400 m galian terbuka di lapangan yang tentunya perlu perhatian khusus yakni terkait keselamatan kerja dan risiko genangan akibat hujan. Dengan demikian, alat berat pun perlu idle 4 hari menunggu pekerjaan instalasi pipa. Hal ini membuat pekerjaan tidak efisien khususnya pada penggunaan alat berat. Jika tim ingin menggunakan *duct spacer* konvensional, maka diperlukan tambahan 1 tim untuk menyelesaikan pabrikasi *duct spacer* , sehingga tim yang sebelumnya mengerjakan pembuatan *duct spacer* dan instalasi pipa dapat fokus pada satu pekerjaan yakni instalasi pipa. Namun, hal ini tentu tidak efisien, mengingat pekerjaan di lapangan sangat banyak dan waktu penyelesaian singkat (*crash program*).

5.2.3 Analisis Biaya Pengadaan *Duct spacer*

Analisis biaya pengadaan *duct spacer* meliputi biaya produksi dan biaya pengiriman ke lokasi proyek. Adapun harga pipe *duct spacer* dari Negara India dan China penulis dapatkan dari *e-commerce* dari negara terkait, sehingga akan didapatkan estimasi harga satuan dasar material dari masing2 negara sesuai dengan gambar dibawah ini;



Gambar 5. 21 Pipe *duct spacer* dari India



Gambar 5. 22 Pipe *duct spacer* dari China

Pengadaan material ini dilakukan pada bulan Desember 2021 dengan nilai kurs USD terhadap Rupiah adalah Rp14.000,00 dan nilai kurs Rupee terhadap Rupiah adalah Rp450,00. Berikut ini adalah perbandingan biaya *duct spacer* dari masing-masing produsen.

Tabel 5. 8 Perbandingan Biaya Pengadaan *Duct spacer*

No.	Perusahaan Asal	Jumlah Pemesanan	Mata Uang (Nilai Kurs Des 2021)	Harga Satuan	Total	Total (Rupiah)
1	India	175000	Rupee (Rp450)	₹ 30,00	Rp 5.250.000	Rp2.362.500.000
2	China	175000	USD (Rp14.000)	\$ 0,50	Rp 87.500	Rp1.312.500.000
3	Indonesia	175000	Rupiah	Rp 9.000	Rp 1.575.000.000	Rp1.575.000.000
4	Mandiri (Hollow)	175000	Rupiah	Rp 4.979	Rp 871.325.000	Rp 871.325.000

Note: Biaya Transportasi dan kepabeanan diabaikan dalam perhitungan harga satuan dasar material *duct spacer*.

Berdasarkan tabel di atas, maka biaya pengadaan *duct spacer* ke lokasi proyek yang paling murah adalah dengan *duct spacer* konvensional (arterial hollow baja ringan) yakni Rp 805.700.000,00. Jika dibandingkan dengan pengadaan *duct spacer prefabricated* termurah yakni produksi di Indonesia terdapat selisih 48.84%. Perbedaan ini tentu sangat signifikan.

5.2.4 Analisis Biaya Pekerjaan Underground Ducting

Analisis pun dilanjutkan dengan melihat harga satuan pekerjaan instalasi *ducting* dengan *duct spacer* konvensional dan *duct spacer prefabricated* per 1 m'. Berikut ini adalah harga satuan tender (data sekunder lokasi studi kasus) yang digunakan untuk analisis perhitungan harga satuan pekerjaan instalasi *ducting* per 1m'.

Tabel 5. 9 Harga Satuan Dasar Tenaga

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan	Keterangan
1	Pekerja	OH	100.000,00	Dok. Proyek
2	Tukang	OH	150.000,00	Dok. Proyek
4	Mandor	OH	200.000,00	Dok. Proyek

Tabel 5. 10 Harga Satuan Dasar Material

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan	Keterangan
1	Pipe PVC Dia. 160mm	m'	349.523,00	Dok. Proyek
2	Duct Spacer PVC (Prefab)	pcs	9.000,00	Dok. Proyek
4	Duct Spacer Konvensional	pcs	4.604,00	Analisis

Tabel 5. 11 Harga Satuan Dasar Peralatan

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan	Keterangan
1	Excavator Pc-75	Hour	780.400,00	Dok. Proyek
2	Excavator Pc-200	Hour	1.128.200,00	Dok. Proyek
4	Baby roller 2 Ton	Hour	487.550,00	Dok. Proyek

Tabel 5. 12 Harga Satuan Pekerjaan

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan	Keterangan
1	Backfill pasir dipadatkan	m3	334.917,00	Dok. Proyek
2	Backfill material pilihan dipadatkan	m3	334.917,00	Dok. Proyek
4	Beton mutu fc'30 Mpa	m3	1.401.753,60	Dok. Proyek

Berdasarkan tabel-tabel di atas, maka dapat dilakukan analisis harga satuan pekerjaan instalasi pipa *ducting* dengan *duct spacer* konvensional dan *duct spacer prefabricated* sebagai berikut.

Tabel 5. 10 Harga Satuan Pekerjaan Instalasi Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer* Konvensional per 1m'

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
1	Pekerja	OH	0,0770	Rp 100.000,00	Rp 7.703,70
2	Tukang	OH	0,0385	Rp 150.000,00	Rp 5.777,78
3	Mandor	OH	0,0193	Rp 200.000,00	Rp 3.851,85
Jumlah Tenaga Kerja					Rp 17.333,33
B	Bahan				
1	Duct Spacer Konvensional	pcs	6,0000	Rp 4.979,00	Rp 29.874,00
2	Pipe dia. 160 mm	m	6,0000	Rp 349.523,00	Rp 2.097.138,00
Jumlah Harga Bahan					Rp 2.127.012,00
C	Peralatan				
Jumlah Harga Alat					Rp -
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)				Rp 2.144.345,33
E	Biaya Umum dan Keuntungan			15%	Rp 321.651,80
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)				Rp 2.466.000,00

Catatan: Perhitungan koefisien lihat pada lampiran.

Tabel 5. 11 Harga Satuan Pekerjaan Instalasi Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer Prefabricated* per 1m'

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga Kerja				
1	Pekerja	OH	0,0226	Rp 100.000,00	Rp 2.259,26
2	Tukang	OH	0,0113	Rp 150.000,00	Rp 1.694,44
3	Mandor	OH	0,0056	Rp 200.000,00	Rp 1.129,63
	Jumlah Tenaga Kerja				Rp 5.083,33
B	Bahan				
1	Duct Spacer PVC	pcs	6,0000	Rp 9.000,00	Rp 54.000,00
2	Pipe dia. 160 mm	m	6,0000	Rp 349.523,00	Rp 2.097.138,00
	Jumlah Harga Bahan				Rp 2.151.138,00
C	Peralatan				
	Jumlah Harga Alat				Rp -
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)				Rp 2.156.221,33
E	Biaya Umum dan Keuntungan			15%	Rp 323.433,20
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)				Rp 2.479.700,00

Catatan: Perhitungan koefisien lihat pada lampiran.

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui biaya instalasi pipa *ducting* dengan *duct spacer prefabricated* lebih mahal Rp 16.244,90 daripada instalasi pipa *ducting* dengan *duct spacer* konvensional. Meskipun waktu instalasi pipa dengan *duct spacer* PVC lebih cepat daripada *duct spacer* konvensional sehingga biaya tenaga kerja lebih murah Rp 12.250,00, tetapi biaya material jauh lebih mahal seperti yang telah dijelaskan sebelumnya yakni 48.84%. Hal ini menyebabkan biaya instalasi pipa *ducting* dengan *duct spacer* PVC per 1 m' lebih mahal daripada dengan *duct spacer* konvensional.

Analisis pun dilanjutkan untuk mengetahui biaya total produksi pipa *ducting* per 1 meter sehingga dapat diketahui nilai efisiensi penggunaan *duct spacer prefabricated*. Di lokasi studi kasus, terdapat 2 jenis penutup pipa *ducting* yakni urugan pasir dan beton yang masing-masing memiliki panjang 19.785m dan 283m. Berikut ini adalah biaya efisiensi terhadap penggunaan *duct spacer prefabricated* dengan volume pekerjaan di lokasi studi kasus dengan harga satuan pekerjaan dari data sekunder di lokasi studi kasus.

Tabel 5. 12 Harga Satuan Pekerjaan Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer* Konvensional dan Penutup Pasir per 1m

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Galian	m3	2,4000	Rp 148.887,00	Rp 357.328,80
2	Instalasi Pipa + duct spacer konvensional	m	1,0000	Rp 2.466.000,00	Rp 2.466.000,00
3	Backfill Material Pasir	m3	0,5838	Rp 334.917,00	Rp 195.528,55
4	Backfill Selected Material	m3	1,8162	Rp 334.917,00	Rp 608.272,25
Harga Total					Rp 3.627.100,00

Catatan: Perhitungan koefisien lihat pada lampiran.

Tabel 5. 13 Harga Satuan Pekerjaan Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer* Konvensional dan Penutup Beton per 1m

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Galian	m3	2,4000	Rp 148.887,00	Rp 357.328,80
2	Instalasi Pipa + duct spacer konvensional	m	1,0000	Rp 2.466.000,00	Rp 2.466.000,00
3	Concrete fc' 30 MPa	m3	0,3618	Rp 1.401.753,60	Rp 507.171,22
4	Backfill Selected Material	m3	2,0382	Rp 334.917,00	Rp 682.623,82
Harga Total					Rp 4.013.100,00

Catatan: Perhitungan koefisien lihat pada lampiran.

Tabel 5. 14 Harga Satuan Pekerjaan Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer* Prefabricated dan Penutup Pasir per 1m

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Galian	m3	2,4000	Rp 148.887,00	Rp 357.328,80
2	Instalasi Pipa + duct spacer PVC	m	1,0000	Rp 2.479.700,00	Rp 2.479.700,00
3	Backfill Selected Material	m3	0,3618	Rp 334.917,00	Rp 121.176,98
4	Backfill Selected Material	m3	2,0382	Rp 334.917,00	Rp 682.623,82
Harga Total					Rp 3.640.800,00

Catatan: Perhitungan koefisien lihat pada lampiran.

Tabel 5. 15 Harga Satuan Pekerjaan Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer* Prefabricated dan Penutup Beton per 1m

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Galian	m3	2,4000	Rp 148.887,00	Rp 357.328,80
2	Instalasi Pipa + duct spacer PVC	m	1,0000	Rp 2.479.700,00	Rp 2.479.700,00
3	Concrete fc' 30 MPa	m3	0,3618	Rp 1.401.753,60	Rp 507.171,22
4	Backfill Selected Material	m3	2,0382	Rp 334.917,00	Rp 682.623,82
Harga Total					Rp 4.026.800,00

Catatan: Perhitungan koefisien lihat pada lampiran.

Tabel 5. 16 Deviasi antara Penggunaan *Duct spacer* Konvensional dengan *Duct spacer Prefabricated*

No	Jenis Timbunan Ducting	Volume (m')	Harga Satuan		Total Biaya		Deviasi (Konv. - Prefb.)
			Konvensional	Prefabricated	Konvensional	Prefabricated	
1	Pasir	19.785,00	Rp3.627.100,00	Rp 3.640.800,00	Rp 71.762.173.500,00	Rp 72.033.228.000,00	Rp 271.054.500,00
2	Beton	283,00	Rp4.013.100,00	Rp 4.026.800,00	Rp 1.135.707.300,00	Rp 1.139.584.400,00	Rp 3.877.100,00
Total Biaya					Rp 72.897.880.800,00	Rp 73.172.812.400,00	Rp 274.931.600,00

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui instalasi pipa *ducting* dengan *duct spacer prefabricated* lebih mahal daripada *duct spacer* konvensional. Deviasi yang diperoleh adalah Rp 274.931.600,00. Seperti pada penjelasan di atas, hal ini disebabkan biaya produksi *duct spacer prefabricated* lebih mahal daripada *duct spacer* konvensional.

5.3 Rekomendasi Material yang Dipilih untuk Duct Spacer pada Proyek Bandar Udara Kediri Berdasarkan Analisis Biaya dan Waktu

Berdasarkan subbab 5.2.1 Analisis Waktu Pengadaan *Duct spacer* dan 5.2.2 Analisis Waktu Penyelesaian Pekerjaan Underground Ducting, waktu pekerjaan dengan *duct spacer* konvensional terdapat waktu idle alat berat selama 4 hari dalam setiap 1000 m pekerjaan ducting. Volume pekerjaan ducting di lokasi studi kasus adalah 20.068m. Hal ini berarti akan ada risiko waktu idle alat berat selama 80 hari. Berikut ini adalah nilai risiko terhadap waktu idle alat berat dengan menggunakan harga satuan dasar (data sekunder lokasi studi kasus).

Tabel 5. 17 Nilai Risiko Waktu Idle Alat Berat

No.	Uraian	Satuan	Waktu Idle (hari)	Harga Satuan (Rp/day)	Jumlah Harga
1	Excavator PC-200	hari	80	Rp 9.025.600,00	Rp 722.048.000,00
Nilai Risiko					Rp 722.048.000,00

Berdasarkan Tabel 5. 17, dapat diketahui nilai risiko waktu idle alat berat sangat tinggi yakni Rp 722.048.000,00. Sehingga jika membandingkan deviasi antara biaya produksi pipa *ducting* dengan *duct spacer* konvensional – *prefabricated*, terdapat risiko kerugian sebesar Rp Rp 274.931.600,00 - Rp

722.048.000,00,00 = -Rp 447.116.000,00. Hal ini tentu perlu menjadi perhatian khusus untuk tim proyek dalam memilih *duct spacer* yang akan digunakan.

Pekerjaan sisi udara di Bandara Kediri yang bervolume besar meliputi pekerjaan aspal, pekerjaan beton untuk Commercial Apron dan Apron VIP, sedangkan pekerjaan drainase hanya bervolume kecil. Di sisi lain, pekerjaan earthwork sudah diselesaikan pihak penyedia jasa sebelumnya. Mengingat, pekerjaan di proyek Bandara Kediri yang membutuhkan alat berat (excavator) hanya sedikit, pengalihan alat berat ke lokasi-lokasi lain sangat sulit. Dalam hal ini, penggunaan *duct spacer prefabricated* lebih menguntungkan jika membandingkan dengan nilai risiko yang ada.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Analisis telah dilakukan seperti pada penjelasan diatas dan disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis metode kerja pekerjaan ducting, *duct spacer* harus dibuat kokoh namun ringkas, sederhana, dan fleksibel terhadap tipe-tipe formasi susunan pipa. Desain *duct spacer* konvensional dibuat sederhana mungkin untuk mengurangi pekerjaan pembautan di lokasi proyek. Hal yang perlu diperhatikan adalah kemungkinan terjadinya tangan tergores baut-baut yang ada pada titik-titik sambungan rangka *hollow* baja ringan. Desain *prefabricated duct spacer* material PVC menggunakan material (biji plastik) Polytam PF 1000 dibawa kelokasi pemasangan kondisi siap pasang dengan sistem mampu saling mengunci (*interconnecting*). *Prefabricated duct spacer* memiliki kuat geser nominal 399kg dan momen nominal 266 kg.cm atau dapat menahan beban tanah jenuh maksimal 162 cm tetapi tidak untuk menahan beban kendaraan.
2. Hasil analisis waktu pengadaan *duct spacer* adalah pengadaan *prefabricated duct spacer* dari produsen di Indonesia yang paling cepat yakni 56 hari. Hal ini dikarenakan produsen di Indonesia tidak memerlukan waktu clearance di pelabuhan, meskipun waktu produksi lebih lama 20 hari karena memerlukan waktu pembuatan molding. Hasil analisis waktu penyelesaian pekerjaan yang tercepat adalah penggunaan *prefabricated duct spacer* yakni 122 detik atau 3 kali lebih cepat daripada penggunaan *duct spacer* konvensional. Penggunaan *prefabricated duct spacer* pun membuat alat berat tidak mengalami waktu idling, sedangkan terdapat 4 hari waktu idling pada penggunaan *duct spacer* konvensional per 1000 m.
Berikut total biaya pekerjaan underground ducting dengan *duct spacer* dari *hollow* baja ringan;

Tabel 6. 1 Total Biaya Pekerjaan Underground Ducting dengan Duct Spacer Konvensional

No	Jenis Timbunan Ducting	Volume (m')	Harga Satuan (Konvensional)	Total Biaya
1	Pasir	19.785,00	Rp3.627.100,00	Rp 71.762.173.500,00
2	Beton	283,00	Rp4.013.100,00	Rp 1.135.707.300,00
Total Biaya				Rp 72.897.880.800,00

Adapun total biaya pekerjaan underground ducting dengan *prefabricated duct spacer* adalah sebagai berikut;

Tabel 6. 2 Total Biaya Pekerjaan Underground Ducting dengan Prefabricated Duct Spacer

No	Jenis Timbunan Ducting	Volume (m')	Harga Satuan (Prefabricated)	Total Biaya
1	Pasir	19.785,00	Rp3.640.800,00	Rp 72.033.228.000,00
2	Beton	283,00	Rp4.026.800,00	Rp 1.139.584.400,00
Total Biaya				Rp 73.172.812.400,00

Total biaya produksi instalasi pipa *ducting* dengan *prefabricated duct spacer* lebih mahal Rp 274.931.600,00.

3. Berdasarkan hasil analisis biaya dan waktu yang telah dilakukan, rekomendasi material *prefabricated* adalah yang paling baik untuk proyek Bandar Udara Dhoho Kediri. Penggunaan *prefabricated duct spacer* dapat meminimalkan biaya risiko sebesar Rp 447.116.000,00 yang terjadi akibat waktu idling alat berat jika pekerjaan dikerjakan dengan pemakaian *duct spacer* dari hollow baja ringan. Dengan demikian, penggunaan *prefabricated duct spacer* lebih layak daripada penggunaan *duct spacer* konvensional di lokasi studi kasus, mengingat pengalihan alat berat ke aktivitas lain relatif sulit karena penggunaan alat berat (excavator) yang relatif rendah.

6.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat diberikan dari penelitian yang dilakukan yakni:

1. Melakukan analisis desain *prefabricated duct spacer* PVC agar didapatkan model yang lebih ekonomis.
2. Melakukan review desain *prefabricated duct spacer* PVC agar dapat digunakan pada berbagai macam ukuran pipa *ducting* yang memungkinkan untuk diaplikasikan pada pekerjaan *ducting* di lokasi lain dan bidang pekerjaan lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, S. S. (2021). Analisis Penjadwalan Proyek Gedung Menggunakan Metode Cpm-Pert (Critical Path Method-Program Evaluation And Review Technique) (Analysis Of Building Project Scheduling Using The Cpm-Pert Method). *E Skripsi Universitas Islam Indonesia*, 117.
- CQ Press. (2020). Federal Aviation Administration. *Federal Regulatory Guide*, 906–912. <https://doi.org/10.4135/9781544377230.n127>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2002). Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara Nomor: SKEP/114/VI/2002 Tentang Standar Gambar Instalasi Sistem Penerbangan Bandar Udara (Airfield Lighting System). *Direktorat Jendral Perhubungan Udara*.
- Elgharbawy, A. S. (2022). Poly Vinyl Chloride Additives and Applications - A Review. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 12(3), 143–151. <https://doi.org/10.54560/jracr.v12i3.335>
- Faa-c-, S. (2012). *Department of Transportation Federal Aviation Administration Specification Installation , Termination , Splicing , and Transient / Surge Protection of Underground. September 2014*.
- Hudha, M. S., & Multi, A. (2019). Perencanaan Saluran Kabel Bawah Tanah Pada Instalasi Pengolahan Gas. *Sinusoida*, XXI(2), 18–29.
- Irika. (2020). Analisis Manajemen Konstruksi Pembangunan Gedung Rawat Inap Kelas Iii Rsud Waled Kabupaten Cirebon. *CIREBON Jurnal Konstruksi*, 9(2), 125–138. <http://jurnal.ugj.ac.id/index.php/Konstruksi/article/view/3773>
- Kementrian Perhubungan. (2013). Peraturan Diraktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor: KP 2 Tahun 2013 Tentang Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara. *Tentang Kriteria Penempatan Peralatan Dan Utilitas Bandar Udara*, 8.
- Liu, T., Cai, L., Liao, Q., & Yang, Y. (2021). *Bending Capacity of Concrete-Encased Underground Electrical Duct Banks under* (p. 17). *Advances in Civil Engineering Vol. 2021*.
- PT. PLN (Persero). (2010). Buku 1 Kriteria Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. *PT PLN (Persero)*, 170.
- SKEP - 114 - VI - 2002 - Pit Trafo dan Galian Kabel.pdf*. (n.d.).
- Takhirov, S., Fujisaki, E., Low, B., & Mosalam, K. (2019). *REINFORCED UNDERGROUND CONCRETE DUCTBANKS AS A BETTER POWER TRANSMISSION ALTERNATIVE TO OVERHEAD POWER LINES IN EARTHQUAKE- AND FIRE-PRONE AREAS*.
- Utomo, B. S., Nisworo, S., & Pravitasari, D. (2023). Studi Perencanaan Kabel Bawah Tanah di Proyek Perumahan Anvaya Townhouse Kota Bogor. *Uli*

Albab: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 2(2), 550–561.

Weatherbee, S. (2015). *University of New Hampshire Scholars ' Repository*
260543 - *Manholes (Underground Ducts & Raceways for Electric Systems)*.

LAMPIRAN

Perhitungan koefisien untuk Tabel 5. 10 Harga Satuan Pekerjaan Instalasi Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer* Konvensional per 1m'

Koefisien Tenaga Kerja

Waktu Penyelesaian untuk instalasi pipa ducting panjang 6 m

$$= 416 \text{ detik (lihat Tabel 5. 3)}$$

$$= 0.1156 \text{ jam}$$

Koefisien per 1 orang pekerjaan

$$= \text{Waktu Penyelesaian} / \text{Kapasitas Panjang Pipa yang Dikerjakan}$$

$$= 0.1156 \text{ jam} / 6 \text{ m}$$

$$= 0.0193$$

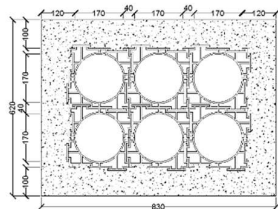
Koefisien Tenaga Kerja = Jumlah tenaga kerja x koefisien per 1 orang pekerjaan

$$\text{Pekerja} = 4 \text{ orang} \times 0.0193 = 0.0770$$

$$\text{Tukang} = 2 \text{ orang} \times 0.0193 = 0.0385$$

$$\text{Mandor} = 1 \text{ orang} \times 0.0193 = 0.0193$$

Koefisien Bahan



Per 6 meter ducting, diperlukan:

1. Duct Spacer 36 pcs
2. Pipa ducting 6 buah @ 6 meter

Koefisien bahan = Jumlah yang dibutuhkan / panjang ducting

$$\text{Duct spacer} = 36 \text{ pcs} / 6 \text{ m} = 6$$

$$\text{Pipa ducting} = 6 \times 6 / 6 \text{ m} = 6$$

Perhitungan koefisien untuk Tabel 5. 11 Harga Satuan Pekerjaan Instalasi Pipa *Ducting* dengan *Duct spacer Prefabricated* per 1m'

Koefisien Tenaga Kerja

Waktu Penyelesaian untuk instalasi pipa ducting panjang 6 m

$$= 122 \text{ detik (lihat Tabel 5. 3)}$$

$$= 0.0339 \text{ jam}$$

Koefisien per 1 orang pekerjaan

$$= \text{Waktu Penyelesaian} / \text{Kapasitas Panjang Pipa yang Dikerjakan}$$

$$= 0.0339 \text{ jam} / 6 \text{ m}$$

$$= 0.0056$$

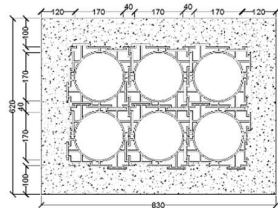
Koefisien Tenaga Kerja = Jumlah tenaga kerja x koefisien per 1 orang pekerjaan

$$\text{Pekerja} = 4 \text{ orang} \times 0.0056 = 0.0226$$

$$\text{Tukang} = 2 \text{ orang} \times 0.0056 = 0.0113$$

$$\text{Mandor} = 1 \text{ orang} \times 0.0056 = 0.0056$$

Koefisien Bahan



Per 6 meter ducting, diperlukan:

3. Duct Spacer 36 pcs

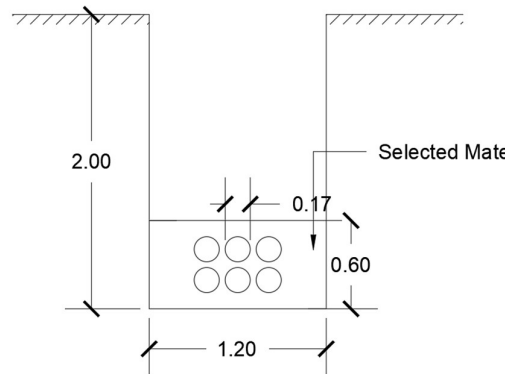
4. Pipa ducting 6 buah @ 6 meter

Koefisien bahan = Jumlah yang dibutuhkan / panjang ducting

$$\text{Duct spacer} = 36 \text{ pcs} / 6 \text{ m} = 6$$

$$\text{Pipa ducting} = 6 \times 6 / 6 \text{ m} = 6$$

Perhitungan koefisien untuk Tabel 5. 12 Harga Satuan Pekerjaan Pipa Ducting dengan Duct spacer Konvensional dan Penutup Pasir per 1m dan Tabel 5. 13 Harga Satuan Pekerjaan Pipa Ducting dengan Duct spacer Konvensional dan Penutup Beton per 1m



Galian tegak disesuaikan dengan spesifikasi pembayaran di lokasi studi kasus yang merupakan pembayaran galian struktur

Koefisien Galian per 1 m'

$$\begin{aligned}
 &= \text{Tinggi galian} \times \text{lebar galian} \times 1 \text{ m} \\
 &= 2.00 \text{ m} \times 1.20 \text{ m} \times 1 \text{ m} \\
 &= 2.40
 \end{aligned}$$

Koefisien Instalasi Pipa per 1 m'

$$= 1$$

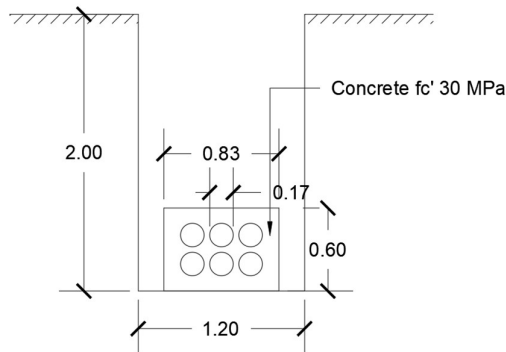
Koefisien backfill material pasir

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Tinggi ducting} \times \text{lebar galian}) - \text{luas pipa ducting} \\
 &= (0.60 \text{ m} \times 1.20 \text{ m}) - 6 \text{ buah} \times 3.14 / 4 \times 0.17 \text{ m} \times 0.17 \text{ m} \\
 &= 0.5838
 \end{aligned}$$

Koefisien selected material

$$\begin{aligned}
 &= \text{koefisien galian} - \text{koefisien backfill material pasir} \\
 &= 2.40 - 0.5838 \\
 &= 1.8162
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien untuk Tabel 5. 14 Harga Satuan Pekerjaan Pipa Ducting dengan Duct spacer Prefabricated dan Penutup Pasir per 1m dan Tabel 5. 15 Harga Satuan Pekerjaan Pipa Ducting dengan Duct spacer Prefabricated dan Penutup Beton per 1m



Galian tegak disesuaikan dengan spesifikasi pembayaran di lokasi studi kasus yang merupakan pembayaran galian struktur

Koefisien Galian per 1 m'

$$\begin{aligned}
 &= \text{Tinggi galian} \times \text{lebar galian} \times 1 \text{ m} \\
 &= 2.00 \text{ m} \times 1.20 \text{ m} \times 1 \text{ m} \\
 &= 2.40
 \end{aligned}$$

Koefisien Instalasi Pipa per 1 m'

$$= 1$$

Koefisien concrete fc' 30 MPa

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Tinggi ducting} \times \text{lebar ducting}) - \text{luas pipa ducting} \\
 &= (0.60 \text{ m} \times 0.83 \text{ m}) - 6 \text{ buah} \times 3.14 / 4 \times 0.17 \text{ m} \times 0.17 \text{ m} \\
 &= 0.3618
 \end{aligned}$$

Koefisien selected material

$$\begin{aligned}
 &= \text{koefisien galian} - \text{koefisien concrete fc' 30 MPa} \\
 &= 2.40 - 0.3618 \\
 &= 2.0382
 \end{aligned}$$