



Rani Kardiani | Dadang Eko Wibowo
Liana Herlina | Endah Kurniyaningrum

REVOLUSI KONSTRUKSI GEDUNG PROTON BEAM:

INOVASI *HIGH DENSITY CONCRETE* (HDC)
UNTUK PERLINDUNGAN RADIASI

**Revolusi Konstruksi Gedung Proton Beam:
Inovasi High Density Concrete (HDC)
Untuk Perlindungan Radiasi**

deepublish | publisher

UU No. 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

**Revolusi Konstruksi Gedung Proton Beam:
Inovasi High Density Concrete (HDC)
Untuk Perlindungan Radiasi**

Rani Kardiani

Dadang Eko Wibowo

Liana Herlina

Endah Kurniyaningrum



Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.

REVOLUSI KONSTRUKSI GEDUNG PROTON BEAM: INOVASI HIGH DENSITY CONCRETE (HDC) UNTUK PERLINDUNGAN RADIASI

Penulis : Rani Kardiani
Dadang Eko Wibowo
Liana Herlina
Endah Kurniyaningrum
Desain Cover : Syaiful Anwar
Sumber : Penulis
Tata Letak : Joko W
Proofreader : Mira Muarifah

Ukuran:
xiv, 133 hlm., Uk.: 14x20 cm

ISBN:
978-634-01-0305-2

Cetakan Pertama:
Maret 2025

Hak Cipta 2025 pada Penulis
Copyright © 2025 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)
Jl. Rajawali, Gg. Elang 6, No. 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl. Kaliurang Km. 9,3 – Yogyakarta 55581
Telp./Faks: (0274) 4533427
Website : www.penerbitdeepublish.com
www.deepublishstore.com
E-mail : cs@deepublish.co.id

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Isi di luar tanggung jawab percetakan.

Kata Pengantar Penulis

Revolusi dalam bidang konstruksi gedung proton beam telah membawa dampak yang signifikan dalam dunia medis, khususnya dalam pengobatan kanker melalui terapi radiasi. *Proton beam therapy* merupakan salah satu metode pengobatan kanker yang menjanjikan dengan tingkat akurasi yang tinggi, namun memerlukan fasilitas yang dirancang khusus untuk melindungi tenaga medis dan masyarakat umum dari dampak radiasi. Oleh karena itu, perlindungan radiasi menjadi aspek krusial dalam pembangunan fasilitas proton beam.

Salah satu inovasi terbaru yang turut mengubah lanskap konstruksi gedung *proton beam* adalah penggunaan *High Density Concrete* (HDC) sebagai bahan utama dalam struktur bangunan. HDC memiliki densitas tinggi yang mampu menyerap dan mereduksi radiasi dengan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan beton konvensional. Inovasi ini membuka peluang untuk merancang gedung *proton beam* dengan tingkat perlindungan radiasi yang lebih optimal, sekaligus mengurangi kebutuhan akan lapisan pelindung yang lebih tebal dan mahal.

Melalui pendekatan ini, bukan hanya keamanan pasien dan staf medis yang terjamin, tetapi juga meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi operasional dari fasilitas terapi *proton beam*. Pemanfaatan *High Density Concrete* sebagai solusi perlindungan radiasi merupakan langkah penting dalam

menggabungkan teknologi konstruksi dengan kebutuhan medis modern.

Dalam buku ini, kami akan membahas berbagai aspek terkait revolusi konstruksi gedung proton beam dengan inovasi *High Density Concrete*, mulai dari teknik konstruksi, keunggulan material, hingga implementasinya dalam berbagai proyek fasilitas *proton beam* di seluruh dunia. Kami berharap buku ini dapat memberikan wawasan baru dan bermanfaat bagi para profesional konstruksi, medis, dan pihak terkait lainnya dalam pengembangan fasilitas yang mendukung kemajuan terapi radiasi yang semakin mutakhir.

Tim Penulis

Kata Pengantar Penerbit

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, buku ***Revolusi Konstruksi Gedung Proton Beam: Inovasi High Density Concrete (HDC) untuk Perlindungan Radiasi*** dapat terwujud dan hadir di tengah-tengah masyarakat. Sebagai penerbit yang berkomitmen untuk mencerdaskan, membahagiakan, dan memuliakan umat manusia, kami merasa terhormat dapat berkontribusi dalam penyebaran ilmu pengetahuan dan pendidikan melalui penerbitan karya ini.

Buku ini memuat inovasi dalam pembangunan fasilitas medis berteknologi tinggi, khususnya gedung terapi *Proton Beam*. Dengan meningkatnya kebutuhan akan pengobatan kanker yang lebih presisi dan aman, proyek ini menghadirkan solusi konstruksi berbasis *High Density Concrete (HDC)* sebagai material utama untuk perlindungan radiasi dan ketahanan struktural. Buku ini mengulas secara mendalam bagaimana *HDC*, dengan densitas tinggi dan kemampuan menyerap radiasi, menjadi elemen kunci dalam memastikan keselamatan pasien, tenaga medis, dan lingkungan sekitar.

Terima kasih dan penghargaan terbesar kami sampaikan kepada penulis yang telah memberikan kepercayaan, perhatian, dan kontribusi penuh demi kesempurnaan buku ini. Kami berharap karya ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan

dalam perkembangan keilmuan di Indonesia. Semoga buku ini tidak hanya menjadi sumber informasi yang berharga, tetapi juga menginspirasi pembacanya untuk terus berkembang dan berkontribusi dalam membangun bangsa yang lebih baik.

Hormat Kami,

Penerbit Deepublish

Daftar Isi

Kata Pengantar Penulis.....	v
Kata Pengantar Penerbit	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel.....	xiii
Bab 1 Mengetahui Material Inovatif <i>High Density Concrete</i> (HDC)	1
Bab 2 Teknologi <i>Proton Beam</i> dan Kebutuhan Konstruksi.....	17
Bab 3 Memahami Lebih Dalam Material <i>High Density Concrete</i> (HDC)	30
Bab 4 Strategi Konstruksi dalam Pembangunan Gedung <i>Proton Beam</i>	47
Bab 5 Implementasi dalam Pembangunan Gedung <i>Proton Beam</i>.....	65
Bab 6 Tantangan dan Solusi dalam Pembangunan Konstruksi.....	112
Glosarium	122
Dokumentasi	125
Daftar Pustaka	127
Profil Penulis.....	131

Daftar Gambar

Gambar 1	Potret Gedung <i>Proton Beam</i>	5
Gambar 2	<i>Batching Plant</i> Cempaka Putih	50
Gambar 3	Salah Satu Proyek yang Dikerjakan	51
Gambar 4	Material <i>Steel Shot</i>	54
Gambar 5	Material <i>Magnadense</i>	55
Gambar 6	Material <i>Portland Cement</i>	56
Gambar 7	Beberapa Material untuk <i>Job Mix Design</i>	60
Gambar 8	Peninjauan campuran	64
Gambar 9	Peninjauan campuran (lanjutan)	64
Gambar 10	Denah Gedung <i>Proton Beam</i>	66
Gambar 11	Pengukuran dan Peninjauan Pekerjaan	67
Gambar 12	Kantor Sementara untuk Pelaksanaan HDC.....	67
Gambar 13	Pengiriman dan Pengemasan Material.....	68
Gambar 14	Penyimpanan Material di Gudang	69
Gambar 15	Penyimpanan Material di <i>Batching Plant</i>	70
Gambar 16	Penggunaan <i>Mobile Crane</i> Kapasitas 25 Ton.....	70
Gambar 17	Koordinasi dengan Berbagai Pihak	71
Gambar 18	Transportasi Beton.....	72
Gambar 19	Pengeboran Fondasi <i>Bored Pile</i>	74
Gambar 20	Perakitan Tulangan Fondasi <i>Bored Pile</i>	74
Gambar 21	Pengecoran Fondasi <i>Bored Pile</i>	75
Gambar 22	Perakitan Tulangan	76
Gambar 23	Pemasangan Bekisting	76
Gambar 24	Pengecoran HDC	77

Gambar 25	Perakitan Tulangan Lantai.....	78
Gambar 26	Pengecoran dan Perataan Beton	78
Gambar 27	Pemasangan Bekisting Dinding	79
Gambar 28	Pengecoran dan Pemadatan Beton	80
Gambar 29	Pengetesan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	80
Gambar 30	Pemberian Zat Aditif untuk Mengontrol Suhu	81
Gambar 31	Pengecekan Nilai <i>Slump</i>	82
Gambar 32	Hasil <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	83
Gambar 33	Rencana Tahapan Pengecoran.....	86
Gambar 34	<i>Layout</i> Pengecoran Dinding Tahap 1	87
Gambar 35	Pengecoran Dinding Tahap 1, Potongan A	88
Gambar 36	Pengecoran Dinding Tahap 1, Potongan C.....	88
Gambar 37	<i>Layout</i> Pengecoran Pelat Tahap 2.....	89
Gambar 38	Pengecoran Pelat Tahap 2, Potongan A.....	90
Gambar 39	Pengecoran Pelat Tahap 2, Potongan G	90
Gambar 40	<i>Layout</i> Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2	91
Gambar 41	Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2, Potongan A.....	92
Gambar 42	Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2, Potongan D	92
Gambar 43	Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2, Potongan E.....	93
Gambar 44	Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2, Potongan F	93
Gambar 45	<i>Layout</i> Pengecoran Dinding Tahap 3	94
Gambar 46	Pengecoran Dinding Tahap 3, Potongan D	95
Gambar 47	Pengecoran Dinding Tahap 3, Potongan E.....	95

Gambar 48	Pengecoran Menggunakan <i>Bucket Cor</i>	97
Gambar 49	Radius Penggunaan <i>Tower Crane</i> untuk Pengecoran <i>High Density Concrete</i>	98
Gambar 50	Penggunaan <i>Mobile Crane</i> Sany STC250 Kapasitas Maksimum 25 Ton untuk Pengecoran dengan <i>Bucket Cor</i>	98
Gambar 51	<i>Curing</i> dengan Penyiraman Air	99
Gambar 52	<i>Curing</i> dengan Geotekstil non Woven	100
Gambar 53	Pengecoran Dinding dan Pelat Tahap 1	101
Gambar 54	Pengecoran Pelat Tahap 2	101
Gambar 55	Pengecoran Dinding Tahap 3	101
Gambar 56	<i>Precast</i> Tipe A	103
Gambar 57	<i>Precast</i> Tipe B	103
Gambar 58	<i>Precast</i> Tipe C	103
Gambar 59	<i>Precast</i> Tipe D	104
Gambar 60	<i>Precast</i> Tipe E	104
Gambar 61	<i>Precast</i> Tipe F	105
Gambar 62	<i>Precast</i> Tipe G	105
Gambar 63	<i>Precast</i> Tipe H	106
Gambar 64	<i>Precast</i> Tipe I	106
Gambar 65	<i>Precast</i> Tipe J	107
Gambar 66	Pemeriksaan Berat Beton	108
Gambar 67	Silinder Beton	109
Gambar 68	Kurva S Pembangunan Konstruksi	115
Gambar 69	Alur Koordinasi Antar-subkontraktor	115

Daftar Tabel

Tabel 1	Syarat beton ditempatkan secara konvensional.....	54
Tabel 2	Spesifikasi <i>Magnadense</i>	55
Tabel 3	Pemeriksaan Semen.....	57
Tabel 4	Rekapitulasi Jumlah Benton untuk Pemeriksaan Kuat Tekan	110
Tabel 5	Kriteria Pengukuran Probabilitas/Peluang	118
Tabel 6	Kriteria Pengukuran/Rating Dampak.....	119

deepublish / publisher



Bab 1

Mengenal Material Inovatif *High Density Concrete (HDC)*

1.1. Pemilihan *High Density Concrete (HDC)* dalam Konstruksi Gedung *Proton Beam*: Perlindungan Radiasi dan Kekuatan Struktural

Pembangunan gedung *Proton Beam* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto merupakan bagian dari langkah besar untuk meningkatkan kualitas layanan kesehatan di Indonesia, khususnya dalam bidang pengobatan kanker. RSPAD Gatot Soebroto, yang berfungsi sebagai rumah sakit utama bagi anggota Tentara Nasional Indonesia (TNI) dan masyarakat umum, memiliki peran strategis dalam menyediakan layanan medis berkualitas tinggi. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi medis, rumah sakit ini terus berupaya meningkatkan fasilitas dan pelayanan demi memenuhi kebutuhan kesehatan yang semakin kompleks dan canggih.

Salah satu tantangan terbesar dalam bidang pengobatan kanker adalah kebutuhan untuk menyediakan terapi yang lebih efektif dan memiliki efek samping yang minimal. **Proton Beam Therapy** adalah salah satu metode pengobatan terkini yang semakin berkembang dan menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan. Berbeda dengan terapi radiasi konvensional yang menggunakan sinar-X, *Proton Beam Therapy* menggunakan *proton*, partikel bermuatan yang dapat menghancurkan sel-sel kanker dengan lebih tepat, mengurangi kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya. Keakuratan dan efisiensi yang dimiliki oleh terapi ini menjadikannya pilihan utama untuk pengobatan kanker pada bagian tubuh yang sulit dijangkau dengan terapi radiasi biasa, seperti tumor di otak, mata, dan daerah-daerah sensitif lainnya.

Namun, untuk dapat menjalankan *Proton Beam Therapy*, sebuah fasilitas medis yang sangat spesifik dan memiliki kebutuhan teknis yang tinggi diperlukan. Pembangunan gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto bertujuan untuk menyediakan ruang yang memenuhi persyaratan teknis, struktur, dan perlindungan radiasi yang sangat ketat. Selain itu, gedung ini juga harus dapat mendukung peralatan medis yang berat, canggih, dan membutuhkan ruang yang besar serta perlindungan ekstra dari paparan radiasi. Proyek ini bukan hanya soal membangun sebuah gedung, tetapi juga tentang menciptakan fasilitas yang dapat menjawab tantangan medis dan teknis dalam pengobatan kanker.

RSPAD Gatot Soebroto, dengan reputasinya sebagai rumah sakit rujukan utama bagi TNI dan masyarakat, dihadapkan pada tantangan besar dalam memastikan bahwa

fasilitas baru ini dapat memenuhi standar internasional dalam hal keselamatan, kualitas, dan efisiensi. Oleh karena itu, pembangunan gedung *Proton Beam* ini memerlukan pendekatan yang sangat cermat dan melibatkan berbagai disiplin ilmu, mulai dari arsitektur, rekayasa struktur, hingga teknik perlindungan radiasi. Dalam proyek ini, PT. Nindya Karya dipercaya sebagai kontraktor utama, dengan tanggung jawab untuk merealisasikan pembangunan gedung yang tidak hanya memenuhi standar konstruksi biasa, tetapi juga standar yang sangat ketat untuk fasilitas medis berteknologi tinggi.

Sebagai perusahaan konstruksi terkemuka di Indonesia, PT. Nindya Karya membawa pengalaman dan keahlian yang luas dalam melaksanakan proyek-proyek berskala besar dan kompleks. Dalam proyek pembangunan gedung *Proton Beam* ini, PT. Nindya Karya menerapkan berbagai inovasi konstruksi, termasuk pemilihan material dan teknologi terbaru untuk memastikan kualitas, ketahanan, dan keselamatan jangka panjang dari gedung ini. Salah satu material inovatif yang digunakan dalam proyek ini adalah **High Density Concrete (HDC)**, sebuah jenis beton dengan kepadatan tinggi yang dirancang khusus untuk mengatasi tantangan konstruksi yang terkait dengan perlindungan radiasi.

High Density Concrete (HDC) dipilih sebagai material utama dalam pembangunan gedung ini karena kemampuan uniknya untuk menyerap radiasi dengan sangat baik. HDC mengandung agregat berat, seperti barit, hematit, atau ilmenit, yang memberikan densitas tinggi yang dibutuhkan untuk mereduksi radiasi proton. Dalam konteks pembangunan gedung *Proton Beam*, HDC berfungsi sebagai pelindung utama bagi

pasien, tenaga medis, dan lingkungan sekitar, agar paparan radiasi yang berasal dari mesin *Proton Beam* tetap terkontrol dan aman. Selain itu, HDC juga memberikan kekuatan struktural yang sangat diperlukan untuk menopang peralatan medis yang sangat berat, serta memberikan stabilitas jangka panjang terhadap faktor lingkungan seperti getaran dan perubahan suhu.

Pemilihan HDC bukan hanya mempertimbangkan manfaat dari segi perlindungan radiasi dan kekuatan struktural, tetapi juga karena sifat material ini yang dapat diandalkan dalam proyek-proyek dengan kebutuhan keamanan dan ketahanan yang sangat tinggi. Dengan menggunakan HDC, PT. Nindya Karya dapat memastikan bahwa gedung *Proton Beam* ini tidak hanya memenuhi persyaratan teknis dari sisi konstruksi dan perlindungan, tetapi juga memberikan kenyamanan dan keselamatan bagi semua pihak yang terlibat, baik pasien maupun tenaga medis.

Proyek ini tidak hanya menghadirkan solusi teknologi terbaru dalam pengobatan kanker, tetapi juga merupakan contoh nyata bagaimana inovasi dalam material dan metode konstruksi dapat berperan besar dalam menciptakan fasilitas medis yang tidak hanya modern, tetapi juga aman dan efisien. Dengan menggunakan material berkualitas tinggi seperti HDC, diharapkan gedung *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto dapat menjadi fasilitas kesehatan yang unggul, siap mendukung kemajuan pengobatan kanker di Indonesia, dan memberikan kontribusi besar bagi dunia medis.

Pembangunan gedung *Proton Beam* ini juga menandai tonggak penting dalam pengembangan infrastruktur kesehatan

di Indonesia. Mengingat betapa pentingnya kemajuan teknologi medis dalam mengatasi tantangan kesehatan global, proyek ini menjadi simbol dari upaya Indonesia untuk berada di garis depan dalam bidang pengobatan kanker. Selain itu, keberhasilan proyek ini juga akan menjadi contoh bagi pengembangan proyek-proyek serupa di masa depan, yang dapat memanfaatkan teknologi dan material inovatif untuk menghadirkan fasilitas kesehatan yang lebih baik, lebih aman, dan lebih efektif.



Gambar 1 Potret Gedung *Proton Beam*

1.2. Pentingnya Pembangunan Gedung *Proton Beam*

Pembangunan gedung *Proton Beam* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto bertujuan untuk menyediakan fasilitas medis yang mampu mendukung implementasi terapi *Proton Beam*, sebuah teknologi pengobatan kanker terkini. Selain sebagai fasilitas untuk pengobatan kanker, pembangunan gedung ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap dunia kesehatan di Indonesia,

khususnya dalam meningkatkan akses terhadap terapi radiasi dengan efisiensi yang lebih tinggi dan efek samping yang lebih rendah.

Tujuan Pembangunan Gedung *Proton Beam*

1. Menyediakan Fasilitas Pengobatan Kanker Berteknologi Tinggi

Tujuan utama dari pembangunan gedung ini adalah menyediakan ruang yang tepat untuk pengoperasian mesin *Proton Beam* yang membutuhkan ruang dan perlindungan khusus. Dengan adanya fasilitas ini, RSPAD Gatot Soebroto dapat menghadirkan terapi pengobatan kanker yang lebih efektif dan aman bagi pasien, terutama dalam pengobatan tumor-tumor yang sulit dijangkau dengan terapi radiasi konvensional.

2. Meningkatkan Kualitas Pelayanan Kesehatan

Pembangunan gedung ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan di Indonesia, terutama dalam hal penanganan kanker yang semakin meningkat jumlah penderitanya. Dengan teknologi *Proton Beam*, proses pengobatan menjadi lebih akurat dan minim dampak samping, yang tentunya akan mempercepat pemulihan pasien dan meningkatkan tingkat keberhasilan terapi.

3. Menyediakan Sarana Pendidikan dan Riset Medis

Selain sebagai fasilitas pengobatan, gedung *Proton Beam* ini juga diharapkan dapat berfungsi sebagai pusat pendidikan dan riset medis. Dengan adanya fasilitas ini,

tenaga medis di Indonesia dapat mengakses pelatihan terkait penggunaan teknologi *Proton Beam*, serta melakukan riset untuk pengembangan lebih lanjut di bidang onkologi dan radioterapi.

4. Memenuhi Standar Keamanan dan Perlindungan Radiasi
Salah satu tujuan penting lainnya adalah menciptakan bangunan yang memenuhi standar internasional dalam hal perlindungan radiasi. Gedung ini dirancang dengan struktur yang dapat melindungi pasien, tenaga medis, serta lingkungan sekitar dari paparan radiasi yang mungkin terjadi selama proses pengobatan. Pemilihan material konstruksi seperti **High Density Concrete (HDC)** akan menjamin bahwa gedung ini memiliki perlindungan yang memadai terhadap radiasi *pengion*.

Manfaat Pembangunan Gedung *Proton Beam*

1. Peningkatan Akses Terhadap Pengobatan Kanker
Dengan adanya fasilitas *Proton Beam*, RSPAD Gatot Soebroto akan menjadi rumah sakit pertama di Indonesia yang menyediakan terapi ini, membuka akses pengobatan kanker bagi masyarakat Indonesia, terutama bagi anggota TNI dan keluarganya, yang sebelumnya harus pergi ke luar negeri untuk mendapatkan terapi serupa.
2. Meningkatkan Citra dan Reputasi Rumah Sakit
Keberadaan fasilitas *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto akan semakin memperkuat posisi rumah sakit ini sebagai pusat kesehatan terkemuka, tidak hanya di kalangan militer, tetapi juga untuk masyarakat umum.

Dengan menyediakan teknologi medis tercanggih, rumah sakit ini akan menjadi referensi dalam layanan kesehatan berkualitas di Indonesia dan Asia Tenggara.

3. Kontribusi terhadap Pengembangan Teknologi Kesehatan Nasional

Pembangunan gedung ini juga diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi kesehatan nasional, dengan meningkatkan pemahaman dan penerapan teknologi radioterapi canggih di Indonesia. Selain itu, proyek ini akan mendorong penelitian dalam bidang radiologi dan onkologi, serta mempercepat adopsi teknologi kesehatan terbaru di tanah air.

4. Menjadi Model bagi Pembangunan Fasilitas Kesehatan Lainnya

Dengan penggunaan material inovatif seperti **High Density Concrete (HDC)**, serta penerapan standar keselamatan dan perlindungan radiasi yang ketat, gedung *Proton Beam* ini dapat menjadi contoh bagi pembangunan fasilitas medis lainnya di Indonesia. Proyek ini menunjukkan bagaimana pemilihan material dan teknologi yang tepat dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih aman, nyaman, dan efisien dalam pelayanan kesehatan.

Kondisi tersebut memiliki aspek teknis secara khusus dalam pembangunannya, meliputi:

a. Perencanaan dan Desain Arsitektural

Pembangunan gedung *Proton Beam* ini memerlukan desain arsitektural yang sangat cermat, karena gedung

harus memenuhi berbagai persyaratan teknis untuk memastikan kenyamanan, keselamatan, dan efektivitas terapi. Desain arsitektur ini melibatkan ruang khusus untuk mesin *Proton Beam* yang besar dan memerlukan isolasi radiasi tingkat tinggi. Selain itu, ruang perawatan pasien harus disusun dengan mempertimbangkan kebutuhan medis serta aksesibilitas yang baik.

b. Pemilihan Material Berkualitas Tinggi

Salah satu tantangan dalam proyek ini adalah pemilihan material konstruksi yang mampu memberikan perlindungan maksimal terhadap paparan radiasi. **High Density Concrete (HDC)** dipilih karena kemampuannya dalam menyerap radiasi pengion dengan efektif. Material ini mengandung agregat berat yang membantu mereduksi radiasi proton, sehingga dapat menjaga keselamatan pasien, tenaga medis, dan masyarakat sekitar. HDC juga memastikan kekuatan struktural gedung agar mampu mendukung beban berat dari peralatan medis canggih yang digunakan di dalamnya.

c. Struktur Bangunan yang Tahan Terhadap Getaran dan Gangguan Eksternal

Mesin *Proton Beam* yang digunakan dalam terapi ini menghasilkan getaran dan radiasi, sehingga gedung harus dirancang untuk tahan terhadap gangguan eksternal. Penggunaan material yang tepat dan desain struktur yang kuat sangat penting untuk mengurangi

dampak negatif akibat getaran tersebut. Selain itu, bangunan ini harus dirancang agar tahan terhadap perubahan suhu yang signifikan, mengingat mesin *Proton Beam* beroperasi dalam kondisi yang sangat spesifik.

d. Sistem Keamanan dan Pengendalian Radiasi

Aspek teknis lainnya yang sangat penting dalam pembangunan gedung ini adalah sistem pengendalian radiasi yang harus diimplementasikan secara ketat. Ini mencakup pemasangan pelindung radiasi, penggunaan material penyerap radiasi (seperti HDC), dan sistem ventilasi yang dirancang untuk menjaga kualitas udara di dalam gedung. Semua sistem ini harus berfungsi dengan baik agar tidak ada paparan radiasi yang membahayakan bagi pasien atau tenaga medis.

e. Teknologi dan Sistem Mekanikal

Penggunaan teknologi mekanikal dan elektrikal yang tepat adalah elemen teknis penting dalam mendukung operasi mesin *Proton Beam* dan sistem pendukung lainnya. Sistem pendinginan, kelistrikan, dan keamanan dalam gedung harus memenuhi standar yang sangat ketat, memastikan mesin *Proton Beam* beroperasi secara optimal dan aman sepanjang waktu.

f. Standar Internasional dalam Konstruksi dan Kualitas

Semua tahap perencanaan, desain, dan pelaksanaan konstruksi harus mengikuti standar internasional yang berlaku, baik dalam hal keselamatan bangunan, efisiensi energi, hingga perlindungan radiasi. Dengan

mengacu pada standar internasional, diharapkan gedung *Proton Beam* ini dapat beroperasi dengan kualitas dan keselamatan yang optimal.

5. Meningkatkan Kapasitas Penanganan Kanker di Indonesia
Dengan menambah kapasitas layanan terapi radiasi, gedung ini akan meningkatkan kemampuan sistem kesehatan nasional dalam menangani kanker. Hal ini sangat penting mengingat jumlah penderita kanker yang terus meningkat, dan dengan adanya fasilitas canggih ini, diharapkan tingkat kesembuhan pasien dapat lebih tinggi.
6. Mendorong Pembangunan Infrastruktur Kesehatan Berkelanjutan
Proyek ini juga berfungsi sebagai inisiatif dalam pembangunan infrastruktur kesehatan berkelanjutan yang memperhatikan kebutuhan jangka panjang. Dengan menggunakan material yang tahan lama dan teknik konstruksi yang sesuai dengan standar internasional, gedung *Proton Beam* ini dirancang untuk memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi generasi mendatang.

1.3. Peranan Penyedia Layanan Konstruksi Berkualitas

PT. Nindya Karya (Persero) adalah salah satu perusahaan konstruksi terbesar dan terkemuka di Indonesia. Dikenal luas karena rekam jejaknya yang panjang dalam mengerjakan proyek-proyek besar dan kompleks, PT. Nindya Karya memiliki komitmen untuk menyediakan layanan konstruksi berkualitas tinggi dalam berbagai sektor, termasuk infrastruktur, gedung, dan fasilitas kesehatan. Sebagai salah satu perusahaan yang

dipercaya oleh pemerintah dan berbagai institusi untuk menangani proyek-proyek vital, PT. Nindya Karya memegang peranan yang sangat penting dalam pembangunan gedung *Proton Beam* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto. Proyek ini adalah salah satu proyek besar yang akan memberikan dampak jangka panjang bagi sektor kesehatan Indonesia, terutama dalam hal pengobatan kanker. Sejarah dan Profil Perusahaan

PT. Nindya Karya didirikan pada tahun 1961 dan berstatus sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Dengan lebih dari enam dekade pengalaman dalam industri konstruksi, perusahaan ini telah mengerjakan berbagai proyek besar di Indonesia, mulai dari proyek infrastruktur seperti jembatan, jalan raya, dan gedung perkantoran hingga fasilitas-fasilitas medis yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi. Sebagai perusahaan konstruksi yang berpengalaman, PT. Nindya Karya memiliki kemampuan teknis yang mumpuni, serta tim yang solid dan terlatih dalam menangani berbagai jenis proyek.

Komitmen PT. Nindya Karya terhadap kualitas, inovasi, dan keberlanjutan telah membantunya menjadi salah satu kontraktor utama dalam pembangunan infrastruktur negara. Dengan didukung oleh tenaga kerja terampil dan teknologi terbaru, PT. Nindya Karya memiliki kemampuan untuk mengelola proyek-proyek besar dan kompleks dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Selain itu, perusahaan ini juga sangat memperhatikan aspek keberlanjutan dalam setiap proyek yang dikerjakannya, dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip ramah lingkungan dan hemat energi.

Peran Kontraktor dalam Pembangunan Gedung *Proton Beam*

Sebagai kontraktor utama dalam proyek pembangunan gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto, PT. Nindya Karya memiliki tanggung jawab yang besar dalam memastikan bahwa proyek ini dapat diselesaikan tepat waktu, sesuai anggaran, dan memenuhi standar kualitas yang tinggi. Berikut adalah beberapa aspek utama peran PT. Nindya Karya dalam proyek ini:

1. Perencanaan dan Desain Konstruksi

Sebagai bagian dari tim pelaksana, PT. Nindya Karya terlibat dalam proses perencanaan dan desain konstruksi gedung *Proton Beam*. Proyek ini membutuhkan desain yang sangat cermat dan detail, mengingat gedung ini harus memenuhi standar internasional dalam hal perlindungan terhadap radiasi, kekuatan struktural, dan kenyamanan pasien. PT. Nindya Karya bekerja sama dengan arsitek, insinyur struktur, dan para ahli radiasi untuk memastikan bahwa desain gedung dapat menampung mesin *Proton Beam* yang berukuran besar, serta memenuhi semua kebutuhan teknis yang berkaitan dengan terapi radiasi, ventilasi, dan perlindungan radiasi.

2. Pemilihan dan Pengadaan Material

Salah satu tantangan utama dalam proyek ini adalah pemilihan material yang tepat. Mengingat gedung ini harus mampu melindungi pasien dan tenaga medis dari paparan radiasi yang dihasilkan oleh mesin *Proton Beam*, PT. Nindya Karya bertanggung jawab dalam memilih material yang sesuai dengan standar perlindungan radiasi yang ketat. Salah satu material yang dipilih untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah ***High Density***

Concrete (HDC). HDC memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi pengion, sehingga menjadi pilihan utama untuk digunakan dalam struktur gedung ini. Selain itu, PT. Nindya Karya juga memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi standar kualitas tinggi dan dapat diandalkan dalam jangka panjang.

3. Konstruksi dan Pelaksanaan Proyek

Pada tahap pelaksanaan, PT. Nindya Karya berperan dalam pembangunan fisik gedung *Proton Beam* mulai dari pekerjaan fondasi, struktur bangunan, hingga penyelesaian *finishing*. Proses konstruksi dilakukan dengan menggunakan teknologi terbaru dan metode yang efisien untuk memastikan bahwa proyek selesai tepat waktu dan sesuai anggaran. PT. Nindya Karya juga memastikan bahwa setiap tahap konstruksi dilakukan dengan ketelitian dan keahlian tinggi, mengingat kompleksitas struktur dan kebutuhan akan ketepatan dalam setiap detail bangunan. Selain itu, perusahaan ini juga berkomitmen untuk menjaga keamanan dan keselamatan di lokasi proyek dengan mengikuti prosedur standar keselamatan yang ketat.

4. Koordinasi dan Pengawasan Proyek

Sebagai kontraktor utama, PT. Nindya Karya memiliki tim pengawas proyek yang bertugas untuk memastikan bahwa setiap aspek pembangunan gedung berjalan sesuai dengan rencana yang telah disusun. Tim ini bertanggung jawab untuk melakukan koordinasi antara berbagai pihak yang terlibat dalam proyek, termasuk sub-kontraktor,

pemasok material, dan pihak rumah sakit. PT. Nindya Karya juga melakukan pengawasan yang ketat untuk memastikan bahwa setiap pekerjaan memenuhi spesifikasi teknis yang telah ditentukan, serta memastikan bahwa seluruh proses konstruksi berlangsung sesuai dengan standar mutu yang tinggi.

5. Penerapan Teknologi Konstruksi Inovatif

Dalam proyek ini, PT. Nindya Karya mengadopsi teknologi konstruksi inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembangunan gedung *Proton Beam*. Penggunaan **High Density Concrete (HDC)** sebagai material utama untuk struktur bangunan adalah contoh penerapan teknologi inovatif yang sangat penting dalam melindungi pasien dan tenaga medis dari paparan radiasi. Selain itu, PT. Nindya Karya juga mengintegrasikan teknologi konstruksi yang ramah lingkungan dan hemat energi dalam setiap aspek pembangunan, mulai dari pemilihan material hingga pengelolaan limbah konstruksi.

6. Jaminan Kualitas dan Keamanan

Kualitas adalah prioritas utama PT. Nindya Karya dalam setiap proyek yang dikerjakannya. Dalam pembangunan gedung *Proton Beam*, perusahaan ini menerapkan sistem manajemen mutu yang ketat untuk memastikan bahwa setiap tahap konstruksi memenuhi standar yang telah ditetapkan. PT. Nindya Karya juga sangat memperhatikan aspek keselamatan kerja, mengingat risiko yang terkait dengan pekerjaan konstruksi gedung yang membutuhkan perlindungan radiasi. Semua prosedur keselamatan kerja

dipatuhi secara ketat untuk menjaga keselamatan pekerja dan memastikan bahwa proyek dapat diselesaikan tanpa kecelakaan.

7. Kontribusi PT. Nindya Karya dalam Meningkatkan Sektor Kesehatan

Proyek pembangunan gedung *Proton Beam* ini tidak hanya memberikan manfaat bagi sektor konstruksi, tetapi juga bagi sektor kesehatan di Indonesia. PT. Nindya Karya melalui peranannya dalam pembangunan gedung ini, turut berkontribusi dalam menghadirkan teknologi medis yang canggih untuk pengobatan kanker. Dengan adanya fasilitas *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto, Indonesia akan memiliki kemampuan untuk memberikan pengobatan kanker yang lebih efektif, dengan risiko efek samping yang lebih rendah, kepada masyarakat Indonesia, terutama anggota TNI dan keluarganya.

Selain itu, PT. Nindya Karya juga berperan dalam meningkatkan kapasitas dan kualitas tenaga kerja Indonesia melalui transfer teknologi konstruksi dan pengelolaan proyek yang *modern*. Pengalaman yang diperoleh selama pembangunan gedung ini akan memberikan dampak jangka panjang bagi perkembangan sektor konstruksi nasional, serta meningkatkan daya saing industri konstruksi Indonesia di pasar global.



Bab 2

Teknologi *Proton Beam* dan Kebutuhan Konstruksi

2.1. *Proton Beam Therapy*

Proton Beam Therapy (terapi sinar proton) merupakan metode pengobatan kanker yang menggunakan partikel proton yang dipercepat untuk memberikan dosis radiasi yang sangat tepat dan efektif pada tumor. Terapi ini menjadi salah satu inovasi dalam dunia medis untuk pengobatan kanker karena kemampuannya untuk menargetkan sel kanker dengan presisi tinggi, sambil mengurangi kerusakan pada jaringan sehat yang ada di sekitar tumor. Dibandingkan dengan terapi radiasi konvensional yang menggunakan sinar X atau radiasi eksternal lainnya, *Proton Beam Therapy* memberikan sejumlah keunggulan yang membuatnya menjadi pilihan utama dalam beberapa jenis kanker yang sulit diobati dengan metode lain.

Proton Beam Therapy bekerja dengan cara memanfaatkan partikel proton, yang merupakan partikel bermuatan positif, untuk menyerang sel kanker. Proton ini dipercepat menggunakan akselerator partikel sehingga dapat mencapai kecepatan tinggi sebelum diarahkan ke tumor yang menjadi target. Salah satu aspek utama dari terapi proton adalah fenomena yang dikenal dengan istilah *Bragg Peak*, di mana partikel proton melepaskan sebagian besar energi mereka pada titik tertentu yang sangat spesifik di dalam tubuh.

Pada terapi radiasi konvensional menggunakan sinar-X, radiasi akan menembus seluruh tubuh hingga akhirnya menyerap energi pada jaringan yang terkena, baik tumor maupun jaringan sehat. Sebaliknya, *Proton Beam Therapy* memungkinkan energi radiasi difokuskan hanya pada titik tumor, dengan sangat sedikit energi yang disebarkan ke jaringan sehat di sekitarnya. Hal ini disebabkan oleh cara proton memancarkan energi yang mereka bawa pada titik akhir perjalanan mereka, yaitu di lokasi tumor, yang mengurangi efek samping pada jaringan sehat yang berada di dekatnya.

Keunggulan *Proton Beam Therapy*

1. Presisi yang Lebih Tinggi

Keunggulan utama dari *Proton Beam Therapy* adalah presisi yang sangat tinggi dalam menargetkan tumor. Dalam pengobatan kanker, sangat penting untuk menargetkan kanker dengan tepat dan menghindari kerusakan pada jaringan sehat di sekitar tumor. Dalam beberapa kasus, tumor terletak sangat dekat dengan organ vital, seperti otak, mata, atau sumsum tulang

belakang, di mana terapi radiasi konvensional mungkin tidak bisa memberikan dosis yang diperlukan tanpa merusak jaringan sehat yang berharga. *Proton Beam Therapy* meminimalkan risiko ini dengan kemampuan untuk lebih tepat dalam menargetkan tumor.

2. Efektivitas untuk Tumor yang Sulit Dijangkau
Proton Beam Therapy sangat berguna dalam pengobatan kanker yang terletak di area tubuh yang sulit dijangkau atau sangat sensitif terhadap radiasi. Tumor yang terletak di dekat otak, mata, atau sumsum tulang belakang, yang sering kali memerlukan perlakuan radiasi yang sangat hati-hati, dapat dirawat dengan cara yang lebih aman dan efektif menggunakan proton. Keuntungan ini juga terlihat dalam pengobatan tumor anak-anak, yang tubuhnya lebih sensitif terhadap radiasi.
3. Mengurangi Efek Samping
Terapi radiasi konvensional sering menyebabkan efek samping pada jaringan sehat, seperti kelelahan, kerontokan rambut, atau kerusakan jaringan sehat yang dapat menyebabkan masalah kesehatan jangka panjang. Salah satu keuntungan besar dari *Proton Beam Therapy* adalah pengurangan efek samping yang sering terjadi pada terapi radiasi lainnya. Karena proton hanya melepaskan energi pada tumor, risiko kerusakan pada jaringan normal sangat minim, sehingga meningkatkan kualitas hidup pasien selama dan setelah pengobatan.

4. Kemampuan untuk Memberikan Dosis Radiasi yang Lebih Tinggi pada Tumor

Proton Beam Therapy memungkinkan pemberian dosis radiasi yang lebih tinggi pada tumor tanpa meningkatkan risiko kerusakan pada jaringan sehat. Ini sangat bermanfaat untuk mengobati tumor yang lebih besar atau lebih agresif, di mana terapi radiasi konvensional mungkin tidak memberikan dosis yang cukup untuk menghancurkan sel kanker. Dalam hal ini, *Proton Beam Therapy* menawarkan peluang yang lebih baik untuk menghancurkan tumor dengan cara yang lebih efisien dan aman.

5. Efektivitas untuk Jenis Kanker Tertentu

Proton Beam Therapy lebih efektif untuk beberapa jenis kanker, seperti kanker otak, kanker kepala dan leher, kanker payudara, kanker paru-paru, dan kanker prostat. Kanker-kanker ini sering kali berada di posisi yang sangat sensitif, dekat dengan jaringan sehat yang vital, yang membuat pengobatan dengan metode konvensional lebih berisiko. *Proton Beam Therapy* memberikan pilihan pengobatan yang lebih aman dan efektif untuk jenis-jenis kanker ini, serta meningkatkan kemungkinan keberhasilan terapi.

Penerapan *Proton Beam Therapy* di Indonesia

Meskipun *Proton Beam Therapy* merupakan metode pengobatan canggih yang relatif baru dan memerlukan fasilitas khusus untuk penerapannya, kini semakin banyak negara di

seluruh dunia yang mengadopsinya untuk pengobatan kanker. Di Indonesia, salah satu langkah besar dalam pengembangan teknologi medis ini adalah pembangunan fasilitas *Proton Beam Therapy* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto, Jakarta. Dengan fasilitas ini, pasien Indonesia, khususnya anggota TNI dan keluarga, dapat mengakses pengobatan kanker dengan teknologi tercanggih yang sebelumnya hanya dapat diakses di luar negeri.

Proyek pembangunan Gedung *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto bertujuan untuk menyediakan layanan medis yang lebih efektif bagi pasien kanker, dengan menggunakan teknologi *proton beam* yang sudah terbukti secara internasional memberikan hasil yang lebih baik. Kehadiran fasilitas ini juga merupakan langkah penting bagi Indonesia dalam memperluas akses pengobatan kanker yang lebih modern dan lebih efisien. Diharapkan dengan adanya fasilitas ini, lebih banyak pasien yang dapat memperoleh pengobatan yang lebih tepat sasaran, meningkatkan harapan hidup pasien kanker di Indonesia.

Tantangan dan Potensi Masa Depan

Meskipun *Proton Beam Therapy* menawarkan banyak keunggulan, ada beberapa tantangan yang perlu dihadapi, terutama dalam hal biaya dan ketersediaan fasilitas. Pembangunan fasilitas *Proton Beam* memerlukan investasi besar, baik dari segi infrastruktur maupun peralatan medis. Selain itu, pelatihan tenaga medis untuk menggunakan teknologi ini juga menjadi tantangan, karena terapi proton memerlukan keterampilan khusus dalam perencanaan dan pengendalian dosis radiasi.

Namun, dengan perkembangan teknologi dan semakin banyaknya fasilitas *Proton Beam* yang dibangun, diharapkan biaya perawatan dapat lebih terjangkau di masa depan. Penelitian dan inovasi di bidang ini juga akan terus berkembang, dengan harapan bahwa terapi proton dapat semakin banyak dimanfaatkan oleh masyarakat luas.

Proton Beam Therapy adalah bentuk terapi radiasi yang sangat efektif dalam pengobatan kanker, dengan presisi yang lebih tinggi, kemampuan untuk mengurangi efek samping, dan kemampuan memberikan dosis radiasi lebih tinggi pada tumor. Dengan adanya fasilitas *Proton Beam Therapy* di Indonesia, khususnya di RSPAD Gatot Soebroto, pasien dapat merasakan manfaat langsung dari teknologi medis canggih ini. Meskipun ada tantangan dalam hal biaya dan sumber daya, potensi masa depan terapi proton sangat besar, terutama dalam meningkatkan kualitas pengobatan kanker di Indonesia.

Dengan perkembangan ini, diharapkan *Proton Beam Therapy* dapat menjadi pilihan utama dalam pengobatan kanker, meningkatkan harapan hidup pasien, dan membuka jalan bagi kemajuan medis di Indonesia.

2.2. Kebutuhan Infrastruktur untuk *Proton Beam Therapy*

Proton Beam Therapy (PBT) merupakan bentuk terapi radiasi yang memanfaatkan partikel proton untuk mengobati kanker dengan presisi tinggi. Namun, untuk dapat melakukan terapi ini, diperlukan infrastruktur yang sangat canggih dan kompleks. Infrastruktur yang memadai sangat penting untuk memastikan bahwa terapi ini dapat diberikan secara efektif dan aman. Pembangunan fasilitas *Proton Beam Therapy* (PBT)

melibatkan perencanaan yang sangat rinci untuk setiap ruangan yang akan digunakan dalam proses pengobatan. Setiap ruangan harus memenuhi standar teknis yang ketat untuk memastikan keamanan, kenyamanan, dan efisiensi terapi. Berikut adalah aspek teknis yang perlu dipertimbangkan untuk setiap ruangan dalam infrastruktur PBT:

1. Ruang Akselerator (*Cyclotron/Synchrotron Room*)

Ruangan ini digunakan untuk akselerasi proton hingga mencapai energi yang dibutuhkan sebelum dipancarkan ke tubuh pasien. Adapun perencanaan teknis pada ruangan akselerator, meliputi:

- a. Ruang akselerator memerlukan ruang yang sangat besar untuk menampung akselerator dan peralatan pendukung lainnya.
- b. Akselerator menghasilkan radiasi berenergi tinggi, ruangan ini harus dilengkapi dengan perlindungan radiasi yang memadai, seperti dinding beton tebal atau material pelindung lainnya (misalnya *High Density Concrete/HDC*).
- c. Akselerator memproduksi panas yang sangat tinggi selama operasi, sehingga diperlukan sistem pendinginan khusus untuk menjaga suhu operasional alat tetap stabil.
- d. Akselerator membutuhkan pasokan listrik yang sangat besar dan stabil, sehingga ruangan ini harus dilengkapi dengan sistem kelistrikan yang andal dan cadangan energi (genset).
- e. Harus ada sistem pengawasan yang ketat untuk memonitor dan memastikan bahwa akselerator

berfungsi dengan benar, serta untuk mendeteksi kebocoran radiasi jika ada.

2. Ruang Penyinaran (*Beamline Room*)

Beamline adalah jalur yang digunakan untuk mengarahkan proton ke tumor, mengalirkan proton yang dipercepat melalui sistem magnet dan kolimator. Adapun perencanaan teknis pada ruangan penyinaran, meliputi:

- a. *Beamline* dilengkapi dengan magnet dan sistem penyalarsan yang canggih untuk memastikan proton diarahkan ke lokasi yang sangat presisi.
- b. Kolimator digunakan untuk memfokuskan dan membentuk berkas proton agar dapat menyasar tumor dengan tepat. Ruang ini harus memiliki sistem kolimator yang dapat diatur untuk menyesuaikan bentuk dan ukuran tumor.
- c. Sama halnya dengan ruangan akselerator, ruangan *beamline* harus memiliki perlindungan radiasi yang memadai untuk melindungi staf medis dari paparan radiasi.

3. Ruang Perencanaan Terapi (*Treatment Planning Room*)

Ruang ini digunakan oleh dokter dan ahli fisika medis untuk merencanakan terapi radiasi dengan menggunakan data pencitraan (*CT-Scan, MRI, PET, SPECT*) dan sistem perencanaan pengobatan.

4. Ruang Terapi Pasien (*Treatment Room*)

Ruang tempat pasien menjalani sesi *Proton Beam Therapy*, di mana pasien akan menerima dosis radiasi langsung pada tumor. Ruang ini juga harus dilindungi

dengan material yang dapat menyerap radiasi (seperti beton bertulang atau HDC) untuk menghindari paparan radiasi kepada tenaga medis dan pengunjung.

2.3. Tantangan Konstruksi Gedung *Proton Beam*

Pembangunan gedung untuk fasilitas *Proton Beam Therapy* (PBT) adalah proyek yang sangat kompleks dan memerlukan pemahaman mendalam tentang teknologi medis, desain struktural yang cermat, serta pengelolaan proyek yang teliti. Setiap elemen dari proyek ini menuntut perhatian khusus, mengingat pentingnya keselamatan pasien, efektivitas pengobatan, dan ketepatan dalam pengoperasian peralatan canggih. Berbagai tantangan teknis, manajerial, dan logistik muncul selama pelaksanaan proyek ini.

Keamanan radiasi adalah salah satu aspek paling kritis dalam pembangunan fasilitas *Proton Beam Therapy* (PBT). Mengingat bahwa *Proton Beam Therapy* melibatkan penggunaan radiasi tinggi untuk mengobati kanker, memastikan keselamatan pasien, tenaga medis, dan masyarakat sekitar menjadi prioritas utama. Proyek pembangunan gedung PBT menghadapi berbagai tantangan terkait pengelolaan radiasi yang perlu di atasi dengan desain struktural yang tepat, pemilihan material pelindung yang efektif, serta sistem pemantauan yang canggih.

1. Penyerapan Radiasi yang Efektif

Penggunaan radiasi dalam *Proton Beam Therapy* memerlukan pelindung yang kuat dan efektif untuk mencegah penyebaran radiasi ke area yang tidak

diinginkan. Tantangan utama dalam hal ini adalah memastikan bahwa dinding, lantai, dan langit-langit ruang akselerator proton memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi dengan baik.

Radiasi proton membutuhkan material pelindung yang dapat menyerap dan mengurangi dampak radiasi. Salah satu solusi yang umum digunakan adalah **High Density Concrete (HDC)**, karena material ini memiliki kerapatan tinggi dan mampu menyerap radiasi dengan sangat efektif. Namun, pemilihan material pelindung harus disesuaikan dengan intensitas radiasi yang digunakan, serta dipastikan bahwa ketebalan material cukup untuk mencegah kebocoran radiasi ke area sekitar.

Salah satu tantangan besar adalah perhitungan ketebalan pelindung radiasi yang tepat. Setiap jenis radiasi dan intensitas yang digunakan dalam terapi memerlukan pelindung dengan ketebalan dan karakteristik material yang sesuai. Dinding pelindung yang terlalu tipis dapat menyebabkan kebocoran radiasi yang membahayakan, sedangkan material yang terlalu tebal dapat meningkatkan biaya konstruksi.

2. Desain Ruang untuk Pengendalian Radiasi

Pengelolaan radiasi di ruang akselerator proton memerlukan desain yang sangat presisi untuk memastikan radiasi tetap terkendali dan tidak tersebar ke area lain dalam gedung.

Selain pengaturan ruang yang tepat, sistem pembatas radiasi yang sangat canggih harus diterapkan. Pelindung radiasi tidak hanya terbatas pada ruang utama

akselerator, tetapi juga harus mencakup ruang penghubung dan area sekitar, seperti ruang pemeriksaan dan ruang staf medis. Desain pelindung ini memerlukan perhitungan matematis dan simulasi radiasi untuk memastikan bahwa tingkat radiasi yang dibocorkan ke area di luar ruang terapi tetap berada di bawah batas aman yang ditetapkan oleh regulasi internasional.

Radiasi proton dapat menembus berbagai jenis material jika tidak dilindungi dengan cukup baik. Oleh karena itu, desain struktural gedung harus mampu mengakomodasi kebutuhan pelindung radiasi yang efektif tanpa mengurangi integritas bangunan. Proses perencanaan ini memerlukan pengetahuan khusus tentang sifat fisik radiasi dan bagaimana ia berinteraksi dengan material bangunan.

3. Pemantauan Radiasi yang Berkelanjutan

Pemantauan radiasi menjadi salah satu aspek yang sangat penting untuk memastikan bahwa radiasi yang digunakan dalam terapi tidak menembus batas yang aman. Seluruh fasilitas harus dilengkapi dengan sistem deteksi radiasi yang terus-menerus memantau tingkat radiasi di berbagai area.

Setiap ruang yang berpotensi terpapar radiasi harus dilengkapi dengan perangkat deteksi radiasi yang canggih. Perangkat ini akan memberikan peringatan jika ada kebocoran atau paparan radiasi yang tidak diinginkan. Sistem pemantauan ini harus bekerja secara otomatis, sehingga pihak rumah sakit dapat segera mengambil langkah pencegahan jika ada penyimpangan.

Salah satu tantangan utama adalah memastikan bahwa sistem pemantauan radiasi berfungsi secara optimal. Hal ini meliputi penggunaan teknologi sensor yang akurat dan sistem alarm yang dapat mengidentifikasi bahkan kebocoran radiasi terkecil sekalipun. Pemantauan secara rutin harus dilakukan untuk memastikan bahwa tingkat radiasi tidak melebihi batas yang ditentukan dan bahwa tidak ada risiko paparan bagi pasien atau tenaga medis.

4. Proses Pengujian dan Validasi

Setelah pembangunan selesai dan peralatan terpasang, tahap berikutnya adalah pengujian untuk memastikan bahwa sistem pelindung radiasi berfungsi dengan baik. Proses pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa dinding dan struktur pelindung lainnya efektif dalam mereduksi radiasi yang dipancarkan oleh akselerator proton. Pengujian ini mencakup pengukuran radiasi di berbagai titik dalam fasilitas untuk memverifikasi apakah seluruh area yang harus dilindungi sudah terlindungi dengan baik. Jika pengujian menunjukkan adanya kebocoran radiasi, perbaikan atau modifikasi struktur pelindung akan dilakukan.

Selain pengujian pelindung radiasi, sistem pemantauan juga harus divalidasi untuk memastikan bahwa perangkat deteksi dan alarm berfungsi dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan cara menyimulasikan kondisi radiasi tertentu dan memverifikasi apakah sistem dapat mendeteksi dan memberi peringatan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

5. Pelatihan dan Kepatuhan terhadap Standar Keselamatan
Keamanan radiasi tidak hanya bergantung pada desain dan teknologi, di mana Proyek pembangunan gedung PBT harus mematuhi berbagai regulasi dan standar internasional yang mengatur penggunaan radiasi, seperti pedoman dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), IAEA, dan standar keselamatan dari lembaga medis. Kepatuhan terhadap regulasi ini sangat penting untuk memastikan bahwa fasilitas *Proton Beam Therapy* tidak hanya aman untuk digunakan, tetapi juga meminimalkan risiko bagi semua pihak yang terlibat.



Bab 3

Memahami Lebih Dalam Material *High Density Concrete (HDC)*

3.1. Definisi dan Karakteristik *High Density Concrete (HDC)*

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. (SNI-03-2847-2002) Terdiri tiga bahan penyusun utama yaitu semen, agregat dan air. Jika perlu, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu. Beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%. Berdasarkan SNI (2847-2013), definisi beton adalah campuran dari bahan-bahan yang terdiri dari semen portland, agregat kasar berupa batu dengan ukuran bervariasi atau batu pecah (*split*), agregat halus berupa pasir alam, air, dan dengan bahan tambahan (*admixture*)

atau *additive*) yang membentuk massa padat maupun tidak dengan bahan tambahan. Pada pertambahan umur tertentu beton akan semakin mengeras dan mencapai kekuatan rencana (f_c') pada umur 28 hari.

Tipe-Tipe Berat Jenis Beton

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (kg/m^3)	Deskripsi	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1000	Beton yang sangat ringan dengan penggunaan bahan pengisi seperti polistirena atau <i>styrofoam</i>	Non Struktur atau Aplikasi yang membutuhkan isolasi termal dan akustik tinggi
Beton Ringan	1600-2000	Menggunakan agregat ringan seperti perlit, ekspansi <i>clay</i> , atau bahan sintetis lainnya untuk menghasilkan beton dengan berat lebih rendah	Dinding ringan
Beton Normal	2200-2500	Beton biasa yang menggunakan agregat standar seperti pasir, kerikil, atau batu pecah. Ini adalah tipe beton yang paling sering digunakan dalam konstruksi umum	Struktur umum, seperti lantai, dinding, dan jembatan

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (kg/m ³)	Deskripsi	Pemakaian
Beton Berat	> 3000	Beton yang menggunakan agregat berat seperti barit, magnetit, atau hematit untuk meningkatkan kepadatannya	Struktur pelindung radiasi dan beban berat

High Density Concrete (HDC) adalah jenis beton yang memiliki kepadatan lebih tinggi dibandingkan dengan beton biasa. Kepadatan tinggi ini dicapai dengan menggunakan material tambahan seperti agregat berat (*heavy aggregates*) yang meningkatkan massa jenis beton tersebut. Beton biasa memiliki kepadatan sekitar 2.400 kg/m³, sedangkan HDC dapat memiliki kepadatan hingga 3.600 kg/m³ atau lebih, tergantung pada komposisi material yang digunakan.

HDC umumnya digunakan pada konstruksi yang membutuhkan perlindungan terhadap radiasi atau memiliki beban struktural yang lebih berat. Salah satu aplikasi utamanya adalah pada pembangunan fasilitas seperti rumah sakit yang menggunakan peralatan medis dengan radiasi tinggi, seperti *Proton Beam Therapy*, untuk memastikan bahwa radiasi yang dihasilkan tidak tersebar ke area yang tidak diinginkan. HDC juga digunakan dalam proyek konstruksi yang membutuhkan ketahanan terhadap beban berat, perlindungan radiasi, dan penguatan struktural.

Karakteristik *High Density Concrete* (HDC)

Kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton biasa merupakan karakteristik utama HDC. Kepadatan yang tinggi ini diperoleh dengan menambahkan agregat berat seperti barit, magnetit, atau hematit. Agregat berat ini meningkatkan massa jenis beton, sehingga memberikan perlindungan terhadap radiasi atau menambah kekuatan struktural.

Salah satu keunggulan utama dari HDC adalah kemampuannya untuk menyerap dan mengurangi dampak radiasi. Dalam aplikasi seperti *Proton Beam Therapy*, HDC digunakan untuk membangun pelindung yang dapat mencegah radiasi tersebar ke area yang tidak diinginkan, menjaga keamanan bagi pasien, tenaga medis, dan lingkungan sekitar. Beton ini sering dipakai dalam dinding, lantai, dan langit-langit ruangan yang berdekatan dengan akselerator proton.

HDC memiliki kemampuan untuk menahan beban yang lebih besar daripada beton biasa. Hal ini menjadikannya ideal untuk digunakan dalam konstruksi yang memerlukan ketahanan ekstra, seperti dalam gedung-gedung tinggi, fasilitas industri, atau pusat data.

Selain memiliki kekuatan yang lebih besar, HDC juga memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi dan keausan. Hal ini menjadikannya cocok untuk digunakan dalam kondisi lingkungan yang keras atau dalam proyek-proyek yang membutuhkan ketahanan terhadap kondisi ekstrem.

Agregat berat yang digunakan dalam pembuatan HDC sering kali berupa mineral dengan kepadatan lebih tinggi, seperti barit, magnetit, atau hematit. Pemilihan agregat ini

sangat penting karena menentukan seberapa efektif HDC dalam melindungi dari radiasi.

Meski memiliki banyak keunggulan, penggunaan HDC dalam konstruksi juga memerlukan pertimbangan yang matang. Karena kepadatannya yang tinggi, HDC lebih berat dan lebih sulit untuk ditangani selama proses pengecoran. Hal ini membutuhkan perhatian ekstra dalam perencanaan struktur dan logistik pembangunan.

Penggunaan agregat berat dan proses produksi yang lebih kompleks menyebabkan harga HDC cenderung lebih mahal dibandingkan dengan beton konvensional. Oleh karena itu, penggunaan HDC biasanya terbatas pada proyek-proyek yang memang membutuhkan ketahanan atau perlindungan ekstra.

Aplikasi *High Density Concrete* (HDC)

Salah satu aplikasi paling umum dari HDC adalah dalam pembuatan pelindung radiasi untuk fasilitas medis, seperti rumah sakit dengan fasilitas *Proton Beam Therapy*. Dinding, lantai, dan langit-langit ruang akselerator proton harus terbuat dari material yang mampu menyerap radiasi yang dipancarkan oleh akselerator proton. HDC menawarkan solusi efektif untuk hal ini.

HDC digunakan dalam konstruksi industri yang memerlukan beton dengan ketahanan terhadap beban yang sangat tinggi, seperti pabrik-pabrik, fasilitas penyimpanan bahan kimia, dan fasilitas nuklir. Beton ini juga digunakan dalam pembangunan infrastruktur yang memerlukan ketahanan dan kekuatan ekstra, seperti jembatan, terowongan, dan pelabuhan. Pusat data yang memerlukan perlindungan terhadap radiasi

elektromagnetik dan kestabilan struktural dapat menggunakan HDC sebagai bahan bangunan utama.

3.2. Keunggulan HDC dalam Konstruksi

High Density Concrete (HDC) menawarkan banyak kelebihan yang menjadikannya pilihan unggulan dalam berbagai aplikasi konstruksi, terutama pada proyek yang memerlukan perlindungan terhadap radiasi, ketahanan struktural tinggi, dan daya tahan terhadap kondisi ekstrem. Kelebihan HDC terletak pada kemampuannya untuk menangani tantangan teknis yang tidak dapat di atasi oleh beton konvensional.

1. Perlindungan Terhadap Radiasi

Salah satu keunggulan utama dari HDC adalah kemampuannya dalam menyerap dan memblokir radiasi. Dalam konstruksi fasilitas medis, terutama rumah sakit yang menggunakan teknologi canggih seperti *Proton Beam Therapy*, perlindungan radiasi menjadi hal yang sangat penting. Dengan menggunakan agregat berat seperti barit, magnetit, atau hematit dalam komposisinya, HDC memiliki kepadatan yang tinggi, yang memungkinkannya untuk bertindak sebagai pelindung radiasi yang efektif.

Kepadatan tinggi HDC memungkinkan material ini untuk menyerap dan mengurangi radiasi pengion, yang dipancarkan oleh akselerator proton atau alat medis radiasi lainnya. Sebagai contoh, dalam ruang *Proton Beam Therapy*, dinding, lantai, dan langit-langit perlu terbuat dari material yang mampu memblokir radiasi agar tidak tersebar ke ruang sekitar. HDC, dengan kepadatan tinggi

dan daya serap radiasi yang efektif, memberikan perlindungan maksimal.

Penggunaan HDC, radiasi yang tidak diinginkan dapat dicegah untuk keluar dari area terapi, sehingga memastikan bahwa pasien, tenaga medis, dan lingkungan sekitar terlindungi dari potensi dampak buruk radiasi. Ini menjadi kunci dalam mendukung keselamatan dan keamanan dalam penggunaan teknologi medis dengan radiasi tinggi.

2. Kekuatan Struktural yang Tinggi

High Density Concrete memiliki kekuatan struktural yang jauh lebih tinggi daripada beton konvensional. Beton ini mampu menahan beban yang lebih berat, menjadikannya pilihan tepat untuk aplikasi yang memerlukan daya tahan ekstra terhadap beban berat atau struktur yang terpapar gaya eksternal yang ekstrem.

Kepadatan yang lebih tinggi, HDC memiliki kapasitas beban yang lebih besar, yang menjadikannya ideal untuk konstruksi yang memerlukan kekuatan struktural superior. Proyek-proyek seperti gedung pencakar langit, jembatan, dan terowongan memerlukan bahan bangunan yang dapat menahan beban berlebih tanpa mengalami kerusakan atau deformasi. HDC menawarkan solusi terbaik dengan kemampuannya menahan gaya tekan, tarik, dan geser yang lebih besar.

Proyek-proyek infrastruktur yang melibatkan beban berat, baik vertikal maupun dinamis, sangat diuntungkan dengan penggunaan HDC dikarenakan HDC memastikan bahwa struktur tetap stabil meskipun terjadi tekanan atau beban

yang sangat besar. Dalam kondisi-kondisi ekstrem, seperti pada proyek infrastruktur besar atau di lokasi yang sering terkena beban tinggi, HDC memberikan peningkatan daya dukung yang signifikan. Misalnya, dalam pembangunan fasilitas industri atau gedung tinggi, HDC memberikan kestabilan yang lebih baik dengan kemampuan menahan beban secara merata dan aman.

3. Ketahanan terhadap Suhu dan Keausan

HDC memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap suhu ekstrem dan keausan, dua faktor penting dalam aplikasi konstruksi yang terpapar kondisi lingkungan yang keras. Keunggulan ini memungkinkan HDC untuk digunakan dalam proyek konstruksi yang beroperasi di area dengan suhu tinggi atau yang sering terpapar keausan akibat gesekan.

Beton konvensional memiliki batasan terhadap suhu tinggi, yang dapat menyebabkan material mengembang, retak, atau bahkan hancur. Namun, HDC memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap perubahan suhu yang ekstrem. Hal ini sangat penting dalam aplikasi industri atau fasilitas yang memerlukan material yang mampu bertahan dalam kondisi panas ekstrem, seperti dalam pabrik, kilang minyak, atau pembuatan material industri.

HDC juga lebih tahan terhadap keausan dan abrasi dibandingkan dengan beton biasa. Dalam aplikasi yang melibatkan lalu lintas berat, gesekan, atau tekanan tinggi (seperti lantai pabrik, area bongkar muat barang, atau pelabuhan), HDC dapat mempertahankan bentuk dan

kekuatan strukturalnya lebih lama, mengurangi biaya pemeliharaan dan perbaikan jangka panjang.

4. Daya Tahan Jangka Panjang dan Pemeliharaan yang Rendah

High Density Concrete menawarkan ketahanan jangka panjang yang luar biasa. Salah satu keunggulannya adalah masa pakai yang panjang, serta kebutuhan pemeliharaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan beton konvensional. Dengan kemampuannya untuk menahan berbagai faktor eksternal seperti kelembapan, bahan kimia, dan perbedaan suhu yang besar, HDC menjadi pilihan yang sangat ekonomis dalam jangka panjang.

Beton HDC lebih tahan terhadap korosi dan kerusakan akibat paparan bahan kimia atau kelembapan. Dalam lingkungan yang terkena bahan kimia agresif atau kondisi cuaca ekstrem, HDC akan tetap mempertahankan integritas strukturalnya lebih lama daripada beton biasa, yang membuatnya lebih ideal untuk proyek-proyek yang memerlukan daya tahan ekstra.

Ketahanan yang tinggi terhadap kerusakan dan keausan mengurangi kebutuhan akan pemeliharaan berkelanjutan. Dalam jangka panjang, penggunaan HDC dapat mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan karena beton ini jarang membutuhkan perbaikan atau penggantian dibandingkan dengan beton konvensional.

5. Kemampuan untuk Menahan Beban Dinamis dan Guncangan

High Density Concrete juga lebih unggul dalam menangani beban dinamis atau guncangan, yang sering ditemukan

dalam proyek-proyek yang melibatkan getaran atau pergerakan struktural. Proyek-proyek infrastruktur yang terkena getaran berulang atau guncangan, seperti jalan tol, jembatan, atau fasilitas industri dengan mesin berat, HDC memberikan solusi yang lebih baik. Kemampuannya untuk menyerap dampak guncangan atau getaran dan mempertahankan kekuatan struktural membuatnya lebih unggul dibandingkan beton biasa.

Ketahanan terhadap Beban Dinamis, HDC sangat berguna dalam konstruksi jembatan, terminal, atau area industri yang sering menerima beban dinamis. Kemampuannya untuk bertahan terhadap gaya yang berubah-ubah dan siklus beban berat akan meningkatkan stabilitas dan daya tahan struktural.

6. Ketersediaan dan Fleksibilitas dalam Pemilihan Agregat Material untuk pembuatan HDC, terutama agregat berat, tersedia di berbagai lokasi di dunia, dan ini memberikan fleksibilitas dalam memilih bahan yang paling sesuai dengan kondisi lokal dan anggaran proyek. Beberapa agregat berat yang umum digunakan dalam pembuatan HDC termasuk barit, hematit, magnetit, dan limonit. Setiap jenis agregat memiliki karakteristik fisik yang berbeda, yang memungkinkan HDC disesuaikan dengan spesifikasi proyek tertentu, baik itu dalam hal ketahanan radiasi, kekuatan struktural, atau daya tahan terhadap suhu tinggi.

Ketersediaan berbagai jenis agregat memungkinkan penggunaan HDC dalam proyek dengan anggaran yang berbeda, tanpa mengorbankan kualitas dan performa

material. Penggunaan agregat lokal dapat mengurangi biaya pengiriman dan menjadikan produksi HDC lebih efisien.

7. Solusi Ekologis dan Teknologi Ramah Lingkungan
Pembuatan *High Density Concrete* dapat menggunakan teknologi terbaru yang memungkinkan pengurangan dampak lingkungan, menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan. Dalam beberapa kasus, agregat berat dapat diperoleh dari sumber yang lebih ramah lingkungan, atau teknologi canggih dapat digunakan untuk mengurangi energi yang dibutuhkan selama proses produksi. Ini membantu mengurangi jejak karbon dari pembuatan HDC. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa HDC dapat diproduksi dengan memasukkan bahan daur ulang, seperti limbah konstruksi atau material sampingan industri, yang mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam dan mengurangi limbah.

3.3. Pemilihan HDC untuk Proyek *Proton Beam*

Pembangunan gedung *Proton Beam* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto merupakan proyek infrastruktur vital yang memanfaatkan teknologi medis canggih, khususnya *Proton Beam Therapy*, dalam pengobatan kanker. Teknologi ini, meskipun sangat efektif, memerlukan infrastruktur yang sangat khusus, salah satunya adalah perlindungan terhadap radiasi yang dihasilkan selama proses terapi. Untuk itu, ***High Density Concrete (HDC)*** dipilih sebagai

material utama untuk memenuhi berbagai kebutuhan teknis yang ketat dari proyek ini.

Pemilihan HDC sebagai bahan konstruksi bukan hanya berdasarkan pada faktor perlindungan radiasi, tetapi juga dipertimbangkan dari segi kekuatan struktural, ketahanan terhadap suhu ekstrem, serta daya tahan jangka panjang dengan biaya pemeliharaan yang rendah. Selain itu, HDC memberikan fleksibilitas desain yang dibutuhkan untuk memenuhi tantangan khusus dalam proyek ini.

1. Perlindungan Maksimal terhadap Radiasi Pengion

Proton Beam Therapy menghasilkan radiasi pengion yang sangat kuat, yang berpotensi berbahaya jika tidak dikendalikan dengan benar. Oleh karena itu, fasilitas yang mendukung terapi ini harus memiliki struktur yang mampu memblokir dan menyerap radiasi, agar tidak menyebar ke ruang sekitarnya dan membahayakan pasien atau tenaga medis.

High Density Concrete (HDC) dipilih karena kemampuannya untuk menyerap radiasi dengan sangat efektif. Material ini mengandung agregat berat seperti barit, hematit, dan magnetit yang memiliki kepadatan tinggi, yang secara signifikan mampu menyerap dan mengurangi radiasi pengion. Struktur yang dibangun dengan HDC ini berfungsi sebagai pelindung radiasi yang sangat baik. Kepadatan HDC memungkinkan dinding, lantai, dan langit-langit ruang *Proton Beam* untuk mengurangi intensitas radiasi hingga tingkat yang aman.

Dalam ruang *Proton Beam*, setiap elemen struktur yang terpapar radiasi harus memiliki kemampuan untuk

menyerap radiasi dengan baik agar tidak menyebabkan pencemaran radiasi ke luar ruangan. HDC mampu menahan radiasi *gamma* dan neutron yang dipancarkan selama terapi proton. Ini sangat penting untuk menjaga keselamatan pasien yang sedang menjalani terapi serta tenaga medis dan masyarakat sekitar dari paparan radiasi yang berbahaya. Selain melindungi radiasi saat terapi berlangsung, penggunaan HDC juga memberikan perlindungan jangka panjang. Dengan ketahanan terhadap degradasi akibat paparan radiasi dalam waktu lama, HDC memastikan bahwa dinding pelindung akan tetap efektif selama bertahun-tahun.

2. Kekuatan dan Ketahanan Struktural yang Luar Biasa

Gedung *Proton Beam* membutuhkan struktur yang tidak hanya kuat, tetapi juga mampu menahan beban berat dari peralatan medis yang sangat besar dan kompleks, seperti akselerator proton, serta mendukung beban dinamis dan getaran yang dihasilkan oleh peralatan tersebut. Oleh karena itu, material dengan kekuatan struktural tinggi sangat dibutuhkan.

HDC memiliki kekuatan tekan yang sangat tinggi dan dapat menahan beban yang jauh lebih besar daripada beton konvensional. Dengan kepadatan yang lebih tinggi, HDC menawarkan ketahanan yang luar biasa terhadap gaya tekan, tarik, dan geser, menjadikannya pilihan ideal untuk proyek-proyek besar dengan beban berat.

Peralatan *Proton Beam Therapy* memerlukan ruang yang sangat besar dan harus ditempatkan di struktur yang kuat untuk menghindari potensi kerusakan akibat beban berat.

HDC, dengan daya dukung yang sangat tinggi, mampu menahan beban statis dan dinamis yang disebabkan oleh akselerator proton, perangkat radiasi, serta beban tambahan dari sistem utilitas lainnya. Selain beban tetap, fasilitas *Proton Beam* juga akan terpapar gaya dinamis akibat peralatan yang beroperasi, seperti getaran dari akselerator. HDC memiliki kemampuan untuk menyerap getaran ini, memastikan struktur tetap stabil dan tidak terpengaruh oleh gangguan-gangguan eksternal yang dapat mempengaruhi kinerja perangkat medis.

3. Ketahanan terhadap Suhu Ekstrem dan Kondisi Lingkungan

Fasilitas medis yang menggunakan teknologi *Proton Beam* sering terpapar pada suhu tinggi yang dihasilkan oleh peralatan seperti akselerator proton dan sistem pendingin yang diperlukan. Selain itu, proyek konstruksi gedung ini berlokasi di area dengan iklim tropis yang dapat mempengaruhi ketahanan material bangunan.

HDC memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap suhu ekstrem jika dibandingkan dengan beton biasa. Bahan ini tidak mudah mengembang atau retak saat terpapar perubahan suhu yang drastis, baik itu suhu tinggi yang dihasilkan oleh peralatan atau fluktuasi suhu eksternal. Dengan ketahanan termalnya yang tinggi, HDC tetap mempertahankan integritas strukturalnya meskipun terpapar pada suhu panas yang tinggi atau penurunan suhu yang tiba-tiba. Ini sangat penting di dalam ruang *Proton Beam*, di mana peralatan penghasil radiasi dan

sistem pendinginan beroperasi pada suhu yang sangat tinggi.

HDC tahan terhadap kelembapan dan korosi dibandingkan beton biasa, yang seringkali menjadi masalah dalam kondisi iklim yang lembap. Dalam konteks proyek ini, hal ini mengurangi kemungkinan kerusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan memastikan struktur tetap kokoh dalam jangka panjang.

4. Daya Tahan Jangka Panjang dan Biaya Pemeliharaan Rendah

Selain daya tahan terhadap faktor eksternal seperti suhu dan kelembapan, HDC memiliki ketahanan terhadap keausan mekanis dan kelelahan struktural yang dapat terjadi selama penggunaan jangka panjang. Ini penting dalam fasilitas medis yang beroperasi 24 jam sehari, 7 hari seminggu, dengan peralatan yang terus beroperasi dalam jangka waktu lama.

HDC memiliki umur pakai yang sangat panjang dan membutuhkan sedikit pemeliharaan dibandingkan dengan beton konvensional. Dengan ketahanan terhadap keausan dan korosi, material ini dapat mengurangi biaya perawatan dan perbaikan yang sering terjadi pada bangunan dengan material yang lebih rentan terhadap kerusakan.

Dengan HDC, struktur bangunan gedung *Proton Beam* membutuhkan lebih sedikit perbaikan atau pemeliharaan dalam jangka panjang. Ini mengurangi biaya operasional dan memungkinkan dana yang ada dialokasikan untuk pengembangan lainnya.

Fasilitas *Proton Beam* yang harus beroperasi tanpa gangguan membutuhkan infrastruktur yang dapat bertahan lama. HDC, dengan ketahanannya terhadap berbagai faktor kerusakan, memastikan bahwa fasilitas ini dapat beroperasi dengan lancar selama bertahun-tahun.

5. Fleksibilitas dalam Desain dan Pengaplikasian

Fasilitas *Proton Beam* memiliki desain yang sangat khusus dan kompleks, dengan ruang-ruang yang memerlukan penataan perangkat medis yang sangat terintegrasi. HDC memberikan fleksibilitas yang sangat besar dalam desain struktural, memungkinkan arsitek dan insinyur untuk mengakomodasi berbagai elemen struktural yang sesuai dengan kebutuhan teknis, tanpa mengurangi kekuatan atau fungsionalitas material.

Kemudahan dalam Proses Pencetakan dan Pembentukan dikarenakan HDC memiliki sifat yang serupa dengan beton biasa, proses pengecoran dan pembentukan dapat dilakukan menggunakan teknik yang sudah familiar dalam industri konstruksi. Dengan demikian, penerapan HDC tidak memerlukan peralatan atau teknik yang sangat berbeda dari konstruksi beton biasa, membuatnya lebih mudah diadaptasi dalam proyek besar dan kompleks.

Fleksibilitas HDC juga berarti bahwa desain dinding pelindung, lantai, dan struktur lainnya dapat disesuaikan dengan spesifikasi proyek, tanpa mengorbankan kualitas atau performa. Ini memungkinkan integrasi yang lebih baik antara kebutuhan pelindung radiasi dan desain arsitektur yang diinginkan.

6. Ketersediaan Sumber Daya dan Efisiensi Produksi

Bahan baku untuk pembuatan HDC, terutama agregat berat, tersedia secara luas di banyak lokasi, yang memberikan keuntungan dalam hal pengurangan biaya transportasi. Fleksibilitas dalam pemilihan agregat juga memungkinkan penggunaan sumber daya lokal, mengurangi ketergantungan pada bahan impor yang mahal dan meningkatkan efisiensi produksi.

Penggunaan Agregat Lokal: Banyak bahan agregat berat yang digunakan dalam HDC, seperti *hematit* dan *barit*, dapat diperoleh dari sumber lokal, yang mengurangi biaya logistik dan memberikan keuntungan dalam hal ketahanan material terhadap kondisi lokal.

Dalam beberapa kasus, HDC juga dapat diproduksi dengan memanfaatkan bahan daur ulang, seperti limbah konstruksi atau produk sampingan industri, yang lebih ramah lingkungan. Hal ini mengurangi penggunaan sumber daya alam dan mengurangi limbah yang dihasilkan selama proses konstruksi.



Bab 4

Strategi Konstruksi dalam Pembangunan Gedung *Proton Beam*

4.1. Perencanaan dan Desain Konstruksi

Perencanaan dan desain konstruksi gedung *Proton Beam* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto merupakan bagian integral yang menentukan kelancaran serta keberhasilan proyek. Dalam perencanaan dan desain konstruksi fasilitas medis canggih seperti ini, terdapat berbagai aspek teknis yang harus dipertimbangkan, mulai dari pemilihan bahan bangunan yang tepat, desain struktural yang kuat dan aman, hingga pengaturan ruang untuk mendukung operasional *Proton Beam Therapy* yang efektif dan efisien. Pada tahap ini, kolaborasi antara berbagai disiplin ilmu seperti arsitektur, struktur, elektro, mekanikal, dan perlindungan radiasi sangat krusial.

Rumah sakit *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto memiliki beberapa fasilitas utama seperti *Linear Accelerator*, *PET-CT*, *SPECT-CT*, *CT-Scan* dan *Proton Beam Therapy* sebagai fasilitas utama dalam menyembuhkan penyakit kanker. *Proton Beam Therapy* sendiri merupakan salah satu alat terapi yang memancarkan radiasi sinar pengion dengan kekuatan 230 MeV. Salah satu keunggulan dari *Proton Beam* adalah menyembuhkan kanker dengan menembakkan sinar pengion khusus ke bagian tubuh yang terkena kanker sehingga tidak terdapat residu /sisa radiasi yang dapat membahayakan bagian /organ tubuh lainnya. *Proton Beam* sendiri akan disuplai oleh *Ion Application Beam* (IBA) sebagai kontraktor *medical equipment* dan akan ditempatkan di lantai basemen Gedung. Untuk menghindari dosis paparan radiasi berlebih akibat penggunaan alat, diperlukan perisai (*shielding*) yang digunakan sebagai pelindung agar sisa dari dosis paparan radiasi sesuai dengan ketentuan dari Bapeten. Metode perisai yang digunakan adalah dengan konstruksi *High Density Concrete* dengan berat jenis 4.800 kg/m³.

Beton kepadatan tinggi merupakan salah satu metode yang dipergunakan dalam rangka untuk memberikan perlindungan terhadap dampak radiasi dari penggunaan alat-alat di bidang kesehatan yang memancarkan paparan radiasi tertentu. Penggunaan *High Density Concrete* tentunya mengacu kepada perhitungan dari Konsultan Perencana Vamed Engineering GmbH sesuai yang dipersyaratkan dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 15 Tahun 2014 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Interversional. Secara dokumen,

sebagai acuan pelaksanaan *High Density Concrete* pada Pembangunan Gedung *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto mengacu kepada:

1. *Bill of Quantity*: Sub Bill. No. 3.3 Pekerjaan Struktur *Basement*
2. *Structural Specification* CNMRT RSPAD Project R2 26 September 2023
3. *Approval Material* Nomor 078/APP/NK-MWT/RSPAD/X/2023 24 Oktober 2023
4. *Shop Drawing* Nomor SD.S.GE.3.17 – SD.S.GE.3.17-F
5. *Shop Drawing* Nomor SD.S.GE.3.18 – SD.S.GE.3.19-D
6. Berita Acara Nomor 212/NK-MWT/IX/2024 12 Oktober 2023

Spesifikasi teknis untuk *High Density Concrete* (HDC) yang digunakan pada konstruksi gedung *Proton Beam* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto, meliputi:

High Density Concrete In-situ

HDC Wall = 166,03 m³
HDC Slab = 502,23 m³

High Density Concrete Precast

Precast tipe A = 14 unit
Precast tipe B = 2 unit
Precast tipe C = 19 unit
Precast tipe D = 2 unit
Precast tipe E = 15 unit
Precast tipe F = 4 unit
Precast tipe G = 2 unit

<i>Precast tipe H</i>	= 5 unit
<i>Precast tipe I</i>	= 4 unit
<i>Precast tipe J</i>	= 7 unit
<i>Concrete strength</i>	= 30 MPa
<i>Reinforcement bar</i>	= BJTD 420D
<i>Density</i>	= 4,8 Ton /m ³
<i>Slump value</i>	= <i>Not specified on RKS</i>
<i>Main materials</i>	= <i>Magnetite /Magnadense Iron Shot /Steel Shot</i>

Untuk mendukung pelaksanaan konstruksi, PT. Nindya Karya (Persero) bekerja sama dengan beberapa vendor diantaranya:

1. PT. Motive Mulia Beton

PT. Motive Mulia Beton adalah anak perusahaan PT. Cemindo Gemilang yang bergerak di bidang industri beton dengan memproduksi beton siap pakai dan beton pracetak dengan merek dagang Merah Putih Beton.



Gambar 2 *Batching Plant* Cempaka Putih

2. LKAB Minerals

LKAB Minerals adalah perusahaan nasional Swedia yang menyuplai material industri mentah dan olahan ke berbagai belahan dunia.



Gambar 3 Salah Satu Proyek yang Dikerjakan

4.2. Pencampuran dan Penggunaan HDC

Desain konstruksi untuk gedung *Proton Beam* memerlukan pemilihan material yang tidak hanya memenuhi standar kekuatan struktural tetapi juga ketahanan terhadap radiasi dan suhu ekstrem. Salah satu material yang dipilih adalah *High Density Concrete* (HDC), yang memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap radiasi, selain kekuatan struktural yang tinggi. Pemilihan material lain, seperti baja dan kaca, juga harus mempertimbangkan kebutuhan daya tahan dan keselamatan.

Material harus dipilih dengan teliti, memperhatikan faktor-faktor seperti:

1. Material yang digunakan dalam desain bangunan harus mampu menyerap dan mereduksi radiasi proton yang dihasilkan selama terapi proton.
2. Mengingat berat peralatan dan beban dinamis yang terlibat dalam terapi proton, material harus memiliki

ketahanan mekanis yang sangat baik untuk mendukung peralatan dan struktur gedung secara keseluruhan.

3. Pemilihan material harus mempertimbangkan aspek daya tahan jangka panjang dan biaya pemeliharaan yang rendah, terutama mengingat fasilitas ini akan beroperasi dalam jangka waktu yang panjang.

High Density Concrete (HDC) merupakan material konstruksi yang sangat penting dalam pembangunan gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto, terutama untuk memberikan perlindungan terhadap radiasi pengion yang dihasilkan selama terapi proton. Proses pencampuran dan penggunaan HDC memerlukan teknik khusus agar kualitas dan fungsinya dapat optimal dalam menyerap radiasi dan mendukung stabilitas struktural gedung. Dalam bagian ini, akan dibahas lebih lanjut mengenai teknik pencampuran, pemilihan bahan baku, serta penerapan HDC dalam konstruksi gedung *Proton Beam*.

HDC adalah beton yang memiliki massa jenis lebih tinggi dibandingkan beton biasa. Beton ini umumnya menggunakan bahan tambahan berat seperti barit, hematit, magnetit, atau limonit untuk meningkatkan kerapatannya. Tujuan utama dari penggunaan HDC adalah untuk meningkatkan daya serap radiasi pengion, sehingga dapat melindungi area sekitar terapi dari paparan radiasi yang berbahaya.

Komposisi utama dari HDC meliputi:

1. Semen, di mana sama seperti beton konvensional, HDC menggunakan semen tipe OPC sebagai bahan pengikat utama.
2. Bahan Pengisi Berat, untuk meningkatkan kepadatan, bahan pengisi seperti barit, hematit, atau mineral berat lainnya digunakan dalam campuran beton.
3. Agregat, agregat kasar dan halus yang digunakan juga memiliki kepadatan tinggi untuk membantu mencapai massa jenis yang lebih besar.
4. Air dan Bahan Pengikat, seperti pada beton biasa, air digunakan untuk mengaktifkan semen dan mengikat bahan lainnya menjadi satu kesatuan yang padat.

Material-material yang digunakan pada proyek gedung *Proton Beam* di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat (RSPAD) Gatot Soebroto memiliki standar nasional dan internasional meliputi American Concrete Institute (ACI) 211.1 Tahun 2002 dan Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu Sebagai salah satu acuan untuk membuat beton dengan massa jenis 4810 kg/m^3 dengan kuat tekan bisa menggunakan material *iron shot* dan *magnetite* sesuai dengan acuan pada tabel 1.

Tabel 1 Syarat beton ditempatkan secara konvensional

Beton ditempatkan secara konvensional									
Massa jenis (unit berat), lb/ft ³ (kg/m ³)	Kekuatan tekan, unit 3 bulan psi (MPa)	Semen, lb/ft ³ (kg/m ³)	Agregat berat, lb/ft ³ (kg/m ³)				Campuran air, lb/ft ³ (kg/m ³)	Kandungan* lb/ft ³ (kg/m ³)	
			Halus		Kasar			Minimum	Maksimum
300 (4810)	5000 (34.5)	23.5 (376)	Iron shot	195 (3120)			12.0 (192)	3.5 (56)	12.0 (192)
			Magnetite	70 (1120)					
300 (4810)	4870 (33.6)	24.1 (386)	Ferrophosphorus	92 (1470)	Ferrophosphorus	171 (2740)	12.7 (203)	3.6 (58)	12.7 (203)
262 (4200)	5350 (36.9)	23.7 (380)	Ferrophosphorus	7 (1120)	Ferrophosphorus	70 (1120)	12.8 (205)	3.6 (58)	12.8 (205)
			Barite	35 (560)	Barite	50 (800)			
232 (3720)	6500 (44.8)	24.3 (389)	Magnetite	86 (1380)	Magnetite	110 (1760)	11.5 (184)	5.7 (91)	13.5 (216)
222 (3560)	6000 (41.4)	19.3 (309)	Barite	86 (1380)	Barite	105 (1680)	11.6 (186)	2.9 (46)	11.6 (186)
219 (3510)	6500 (44.8)	24.9 (399)	Hydrous iron ore	82 (1310)	Hydrous iron ore	100 (1600)	12.0 (192)	9.2 (147)	17.5 (280)
190 (3040)	5750 (39.6)	20.9 (335)	Serpentine	50 (800)	Magnetite	106 (1700)	13.0 (208)	9.1 (146)	19.0 (304)

Steel shot/iron shot merupakan material besi *abrasive* yang dibentuk dengan bentuk bulat dan digunakan dalam berbagai macam aplikasi industri. Pada umumnya *steel shot* dipergunakan sebagai *abrasive* untuk *stripping* dan membersihkan permukaan logam untuk mendapatkan hasil yang baik. Unsur utama pembentuk *steel shot* adalah bijih besi (Fe) serta memiliki berat jenis berkisar antara 7,3 - 7,48.



Gambar 4 Material *Steel Shot*

Magnadense adalah *magnetite* alami yang dapat dipergunakan sebagai material penyusun *High Density Concrete*. *Magnadense* tersedia dalam agregat halus dan agregat kasar dengan ukuran berkisar antara 0,5 mm sampai dengan 20 mm. Secara komposisi, *Magnadense* disusun oleh bijih besi (Fe) serta memiliki berat jenis berkisar antara 4,7 – 4,8. Ukuran *Magnadense* yang digunakan sebagai penyusun *High Density Concrete* adalah *Magnadense 8s* dan *20s*.



Gambar 5 Material *Magnadense*

Tabel 2 Spesifikasi *Magnadense*

MagnaDense 8s			MagnaDense 20s		
MagnaDense products are manufactured from natural iron oxide.			MagnaDense products are manufactured from natural iron oxide.		
Specified / controlled properties			Specified / controlled properties		
	min.	max.		min.	max.
Fe (%) (ISO9516)	83,5		Fe (%) (ISO9516)	64,2	
Particle density (ton/m ³) (EN 1097-6)	4,7		Particle density (ton/m ³) (EN 1097-6)	4,7	
Moisture (%) - (ISO3087)		3	Moisture (%) - (ISO3087)		3
PSD in mm (% passing by weight) - (EN933-1)			PSD in mm (% passing by weight) - (EN933-1)		
12,5	100	100	32	100	100
16,0	98	100	20	98	100
3,3	85	99	16	90	99
5,0	78	99	8	24	60
4,0	63	90	4	0	15
2,0	37	71	2	0	5
1,0	23	55			
0,50	16	42			
0,25	9	31			
0,125	6	22			
0,063	0	13			

Semen dipergunakan sebagai bahan pengikat hidrolis antara agregat kasar dan agregat halus dalam beton. *High Density Concrete* dengan mutu f_c' 30 MPa didesain dengan menggunakan semen portland tipe 1 OPC (*Ordinary Portland Cement*). Semen *Portland* tipe 1 merupakan semen yang umum digunakan dalam konstruksi bangunan dan tidak memerlukan persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal yang tinggi.



Gambar 6 Material *Portland Cement*

Tabel 3 Pemeriksaan Semen

CERTIFICATE OF ANALYSIS for OPC - SNI				
Producent Name : PT Cemindo Gemilang Tbk Sampling Date : April 2024 Sampling Place : Integrated Cement Plant Bayah Cement Type : Ordinary Portland Cement Product Name : Ultramax		Date : June 13th, 2024		
No. : OC/BV/QP/TV/2024		SNI 2049-1 : 2020		
Physical Properties		Test Method		Result
1. Fineness with Blaine equipment	m ² /kg	SNI 2049-5:2021	min 260	369
2. Setting Time				
- Initial Setting Time	minutes	SNI 2049-8:2021	min 45	133
- Final Setting Time	minutes	SNI 2049-8:2021	max 375	247
3. Strength :				
- 3 Days	MPa (kg/cm ²)	SNI 2049-7:2022	min 13 (195)	22.7 (231)
- 7 Days	MPa (kg/cm ²)	SNI 2049-7:2022	min 21 (215)	29.9 (305)
- 28 Days	MPa (kg/cm ²)	SNI 2049-7:2022	min 29 (300)	40.0 (408)
4. False set				
- Final Penetration	%	SNI 2049-9:2021	min 50	86.55
5. Pemulihan dengan Autoclave	%	SNI 2049-6:2021	max 0.8	0.029
6. Kandungan Udara, Volume	%	SNI 2049-4:2021	max 12	7.42
Chemical Properties				
1. Silicon Dioxide	{ SiO ₂ }	%		19.45
2. Aluminium Oxide	{ Al ₂ O ₃ }	%		4.83
3. Ferric Oxide	{ Fe ₂ O ₃ }	%		3.23
4. Calcium Oxide	{ CaO }	%		62.47
5. Magnesium Oxide	{ MgO }	%	SNI 2049-3:2021	max 5.0
6. Sulfur Trioxide	{ SO ₃ }	%	SNI 2049-3:2021	max 3.0
When (C ₃ A) is 8% or less				2.47
When (C ₃ A) is more than 8%				0.58
7. Free Lime	{ F-CaO }	%	SNI 2049-3:2021	max 3.0
8. Loss on Ignition	{ LOI }	%	SNI 2049-3:2021	max 5.0
When limestone is not an ingredient				4.49
When limestone is an ingredient				1.48
9. Insoluble Residue	{ IR }	%	SNI 2049-3:2021	max 3.0
10. Total Alkalies	{ as Na ₂ O }	%	Calculation	max 0.6
11. Tricalcium Silicate	{ 3 CaO.SiO ₂ }	%	Calculation	0.53
12. Dicalcium Silicate	{ 2 CaO.SiO ₂ }	%	Calculation	39.99
13. Tricalcium Aluminate	{ 3 CaO.Al ₂ O ₃ }	%	Calculation	10.51
14. Tetracalcium Aluminoferrite	{ 4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ }	%	Calculation	7.33
				9.83
Remarks :				

Admixture merupakan bahan tambahan/obat beton yang ditambahkan pada beton sebagai salah satu cara untuk memperbaiki atau menambahkan spesifikasi khusus pada beton. Penggunaan *admixture* pada *High Density Concrete* adalah sebagai berikut:

1. *Retarder*, digunakan sebagai bahan tambah untuk memperlambat proses pengikatan campuran beton.
2. *Superplasticizer*, digunakan sebagai bahan tambah untuk mengurangi pemakaian air.

Menurut SNI 03-6861.1 Tahun 2002 persyaratan air untuk campuran beton adalah:

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan klorida (Cl) < 0,50 gram /liter dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃.

Setelah campuran HDC selesai disiapkan, beton tersebut digunakan dalam konstruksi gedung *Proton Beam*, terutama untuk bagian-bagian bangunan yang memerlukan pelindung radiasi. Berikut adalah beberapa penerapan HDC dalam proyek ini:

1. Dinding Pelindung Radiasi, salah satu penggunaan utama HDC adalah pada dinding dan lantai ruang terapi *Proton Beam*, yang harus mampu menyerap dan mereduksi radiasi proton agar tidak tersebar ke area lain di sekitar fasilitas. Ketebalan dinding ini bergantung pada tingkat radiasi yang dihasilkan dan juga pada kepadatan material yang digunakan dalam campuran HDC.
2. Struktur Gedung, HDC juga digunakan untuk bagian struktural gedung yang memerlukan ketahanan ekstra terhadap beban, seperti kolom dan fondasi. Selain itu, penggunaan HDC pada struktur gedung juga membantu menjaga kestabilan bangunan yang menampung

peralatan berat seperti akselerator proton dan sistem pendinginan.

3. Pelapisan dan Penyangga, selain digunakan sebagai material utama dalam struktur bangunan, HDC juga bisa digunakan sebagai pelapis untuk penyangga dan bagian tertentu dari sistem utilitas yang berada di dekat ruang radiasi, untuk memberikan perlindungan tambahan terhadap paparan radiasi.

Rancangan Campuran/*Job Mix Design*

Rancangan campuran (*job mix design*) beton dilakukan untuk menghasilkan suatu komposisi penggunaan bahan yang minimum dengan kekuatan yang maksimal dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar mutu beton dan ekonomis jika ditinjau dari aspek biaya keseluruhannya. Di Indonesia, metode yang digunakan untuk *Job Mix Design* merupakan adopsi dari *British Standard* atau *Departement of Environment* (DoE). Kriteria dasar dalam perancangan beton adalah kekuatan beton yang berhubungan dengan factor air semen yang digunakan. Dalam pelaksanaannya, kami sudah melakukan beberapa kali percobaan untuk menghasilkan *job mix design* dengan beberapa lembaga yang mampu untuk melaksanakan diantaranya:

1. Universitas Indonesia
2. Universitas Gadjah Mada
3. Institut Teknologi Bandung
4. Universitas Trisakti
5. Universitas Gunadarma
6. PT. Adhimix RMC Indonesia

- 7. PT. Motive Mulia
- 8. LKAB Minerals



Gambar 7 Beberapa Material untuk Job Mix Design

4.3. Pengawasan dan Kontrol Kualitas

Pengawasan dan kontrol kualitas dalam penggunaan *High Density Concrete* (HDC) merupakan tahap yang sangat krusial dalam memastikan bahwa beton yang digunakan untuk konstruksi gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto memenuhi standar teknis, keselamatan, dan fungsi perlindungan radiasi yang dibutuhkan. Dalam proyek konstruksi seperti ini, kualitas beton tidak hanya berperan dalam ketahanan struktural bangunan, tetapi juga dalam efektivitas perlindungannya terhadap paparan radiasi yang berbahaya.

Pengawasan kualitas HDC dilakukan sejak tahap perencanaan hingga proses aplikasi di lapangan. Setiap tahap memiliki peran penting dalam memastikan bahwa beton yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Pengawasan Bahan Baku, pengawasan dimulai dengan pemilihan bahan baku untuk campuran HDC. Bahan pengisi berat seperti magnetit dan *iron shoot* dengan kepadatan tinggi harus dipastikan memiliki kualitas yang sesuai dengan standar. Pengujian laboratorium pada bahan baku dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada kontaminasi atau bahan yang dapat mempengaruhi kualitas dan efektivitas HDC.

Pengawasan Proses Pencampuran, selama proses pencampuran, pengawasan yang ketat dilakukan untuk memastikan bahwa komposisi bahan baku, termasuk semen, agregat, dan bahan pengisi berat, tercampur dengan benar. Konsistensi dan homogenitas campuran sangat penting untuk memastikan kekuatan dan kepadatan beton yang optimal. Alat pencampur beton yang digunakan juga harus dalam kondisi baik untuk menghasilkan campuran yang merata.

Pemantauan Proses Penuangan dan Pengolahan Beton, setelah campuran HDC siap, proses pencetakan atau penuangan beton ke dalam *formwork* harus dipantau secara ketat untuk menghindari kerusakan atau cacat pada struktur yang dihasilkan. Pengolahan setelah pencetakan, seperti pemadatan dan pemeliharaan kelembapan pada beton, juga menjadi bagian dari pengawasan kualitas yang penting untuk mencapai kekuatan dan ketahanan yang diinginkan.

Setelah beton HDC diterapkan dalam struktur bangunan, kontrol kualitas harus tetap dilanjutkan untuk memastikan bahwa semua bagian bangunan memenuhi persyaratan teknis dan keselamatan. Beberapa aspek kontrol kualitas di antaranya:

1. Uji Kekuatan Beton, selama pembangunan, uji tekan beton HDC dilakukan secara berkala untuk memastikan

bahwa kekuatan beton yang dihasilkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pengujian ini umumnya dilakukan pada sampel beton yang diambil pada waktu tertentu, baik saat pencampuran maupun setelah beton mengeras.

2. Pengujian Kepadatan dan Densitas, pengujian untuk memastikan bahwa kepadatan dan densitas beton HDC sesuai dengan spesifikasi sangat penting, mengingat peran utama beton ini adalah untuk memberikan perlindungan terhadap radiasi. Uji kepadatan dan densitas dapat dilakukan dengan metode pengukuran volume atau massa jenis yang tepat.
3. Inspeksi Visual, selain uji laboratorium, inspeksi visual dilakukan secara rutin untuk mendeteksi cacat pada permukaan beton, seperti retak atau pemisahan lapisan, yang dapat memengaruhi integritas struktural dan fungsi perlindungannya. Cacat kecil harus segera diperbaiki untuk mencegah masalah yang lebih besar di kemudian hari.

Selain pengujian internal yang dilakukan oleh tim proyek, seringkali diperlukan pengujian dari pihak ketiga untuk memastikan bahwa hasil konstruksi memenuhi standar internasional dan persyaratan keamanan yang lebih ketat, khususnya terkait dengan perlindungan radiasi. Pengujian oleh laboratorium independen atau badan sertifikasi akan memberikan jaminan tambahan bahwa HDC yang digunakan dalam pembangunan gedung *Proton Beam* benar-benar memenuhi kriteria yang diperlukan.

Pelaksanaan campuran beton (*trial mix*) bertujuan untuk menyederhanakan variasi komposisi campuran dan menentukan penggunaan kebutuhan air pencampuran sehingga mudah untuk dikerjakan. Nindya-Modern KSO dalam proses penelitian untuk menguji *job mix design* sudah beberapa kali mengadakan *trial mix* di berbagai laboratorium diantaranya:

1. PT. Pancaran Sewu Sejahtera – 18 Januari 2023
2. PT. Adhimix Indonesia – 15 Maret 2023
3. PT. Adhimix Indonesia – 28 Maret 2023
4. PT. Motive Mulia – 23 Mei 2023
5. PT. Adhimix Indonesia x LKAB Minerals – 05 Juli 2023
6. PT. Motive Mulia – 08 Agustus 2023
7. CV. John Hitech Contrindo – 25 Agustus 2023
8. PT. Motive Mulia – 18 September 2023
9. PT. Motive Mulia – 12 Oktober 2023

Dalam pengujian campuran (*trial mix design*) dilakukan sebanyak beberapa tahap untuk menemukan campuran yang sesuai dengan spesifikasi teknis untuk HDC, PT. Nindya Karya (Persero) bekerja sama dengan PT. Motive Mulia untuk menemukan *mix design* yang sesuai dengan pertimbangan dalam efisiensi JMF, menyesuaikan karakter beton dan kompleksitas pekerjaan. Pertimbangan tersebut mempengaruhi volume material, jenis material, dan syarat beton. Berikut merupakan langkah-langkah pelaksanaan pada *trial mix design*.

1. Melakukan penimbangan material yang akan digunakan.
2. Tuangkan Magnadense 8s ke dalam molen.
3. Setelah Magnadense 8s, selanjutnya tuangkan Magnadense 20s.

4. Selanjutnya masukkan semen *Portland*.
5. Sambil molen mengaduk, masukkan air dan retarder.
6. Masukkan *steel shot* ke dalam campuran beton.
7. Lanjut pengadukan selama 6 menit.
8. Setelah itu tuangkan adukan beton untuk pengecekan *slump*-nya.
9. Didapatkan nilai *slump* HDC 18 cm \pm 2 cm dan suhu 36,5 °C.
10. Selanjutnya pembuatan sampel untuk pengujian kuat tekan.



Gambar 8 Peninjauan campuran



Gambar 9 Peninjauan campuran (lanjutan)



Bab 5

Implementasi dalam Pembangunan Gedung *Proton Beam*

5.1. Langkah Awal yang Krusial dalam Pembangunan Gedung *Proton Beam*

Persiapan lokasi dan mobilisasi material adalah langkah awal yang sangat penting untuk memastikan keberhasilan pembangunan gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto. Tahap ini mencakup berbagai kegiatan yang bertujuan untuk menyiapkan lahan, memastikan efisiensi transportasi material, dan mendukung kelancaran operasional proyek. Mengingat kompleksitas proyek ini, setiap langkah dilaksanakan dengan perencanaan yang matang dan pengawasan ketat untuk menjamin kualitas, keamanan, dan efektivitas proses konstruksi.

1. Penyiapan Lokasi Proyek

Persiapan lokasi proyek mencakup berbagai langkah teknis yang bertujuan memastikan bahwa lahan yang

akan digunakan memenuhi standar konstruksi dan keselamatan. Kegiatan utama meliputi:

Pembersihan Lahan

Lokasi proyek dibersihkan dari hambatan seperti vegetasi, puing-puing, atau struktur bangunan lama. Alat berat seperti *bulldozer* dan *excavator* digunakan untuk mempercepat proses ini, sehingga lahan siap untuk pembangunan.



Gambar 10 Denah Gedung *Proton Beam*

Pengukuran dan Survei Teknis

Survei teknis dilakukan untuk mengukur topografi lahan, menentukan titik-titik utama konstruksi, dan menyesuaikan desain bangunan dengan kondisi di lapangan. Data hasil survei ini menjadi dasar untuk menetapkan area kerja dan lokasi struktur utama.



Gambar 11 Pengukuran dan Peninjauan Pekerjaan

Pembangunan Infrastruktur Sementara

Fasilitas sementara seperti kantor proyek, gudang penyimpanan material, dan area parkir alat berat didirikan di sekitar lokasi proyek untuk mendukung kelancaran operasional.



Gambar 12 Kantor Sementara untuk Pelaksanaan HDC

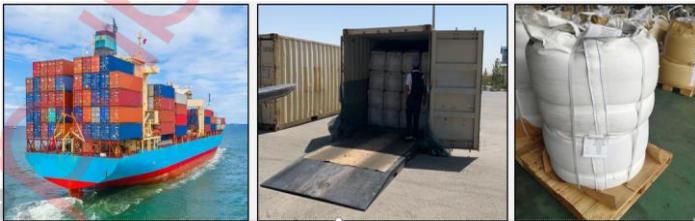
2. Mobilisasi Material dan Peralatan

Mobilisasi material dan peralatan merupakan proses yang mencakup pengangkutan bahan konstruksi serta alat berat ke lokasi proyek. Pada proyek gedung *Proton Beam*, hal ini menjadi lebih kompleks karena material khusus seperti *High Density Concrete* (HDC) memerlukan penanganan khusus.

Logistik Material

Material seperti semen, agregat, bahan pengisi berat (seperti barit dan hematit), serta baja tulangan diangkut dari pabrik atau pemasok ke lokasi proyek. Perencanaan logistik yang matang, termasuk pengaturan rute pengiriman, waktu kedatangan, dan kapasitas jalan, dilakukan untuk menghindari keterlambatan.

Proses pengiriman material *Magnadense* dan *Steel Shot* melalui jalur laut dengan menggunakan kontainer 20 ft dan berat masing-masing kontainer adalah 22 Ton. *Magnadense* dan *Steel Shot* masih dibungkus lagi dengan menggunakan bags /karung yang didesain khusus anti karat dengan berat masing-masing 1 Ton per bags sehingga dalam 1 kontainer 20 ft akan berisi 22 bags.



Gambar 13 Pengiriman dan Pengemasan Material

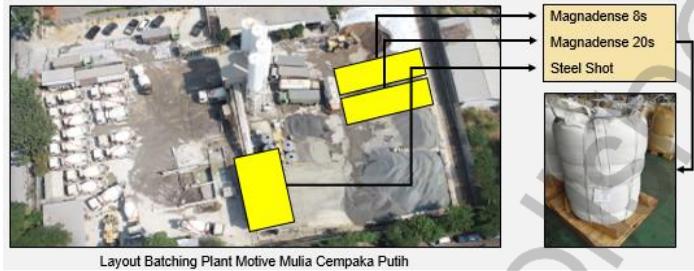
Penyimpanan Material

Setelah tiba di lokasi, material disimpan di gudang yang sesuai untuk menjaga kualitasnya. Misalnya, semen disimpan di tempat yang kering untuk mencegah pengerasan, sedangkan agregat berat memerlukan perlakuan khusus agar tidak terkontaminasi. Setelah material sampai di Pelabuhan Tanjung Priok dan selesai pengurusan bea cukai, material akan dikirimkan ke gudang sementara di Jalan Salemba Raya untuk selanjutnya disimpan dalam *quarry materials* yang terlindungi dalam kemasan *bags* tertutup sampai dengan material siap untuk digunakan.



Gambar 14 Penyimpanan Material di Gudang

Material yang disimpan di gudang sementara akan dikirimkan ke *batching plant* PT. Motive Mulia Beton yang beralamat di Jalan Cempaka Putih Timur No. 01 RT.01/RW.06, Cempaka Putih, Kota Jakarta Pusat dalam kemasan *bags* tertutup untuk digunakan.



Gambar 15 Penyimpanan Material di *Batching Plant*

Mobilisasi Peralatan Berat

Peralatan seperti *crane*, *mixer beton*, dan pompa beton juga dipindahkan ke lokasi. Proses ini memerlukan izin dari otoritas setempat, terutama jika alat berat yang diangkut memiliki dimensi atau berat melebihi batas jalan.



Gambar 16 Penggunaan *Mobile Crane* Kapasitas 25 Ton

3. Koordinasi dengan Pihak Terkait

Pelaksanaan tahap ini melibatkan koordinasi yang intensif dengan berbagai pihak meliputi izin untuk penggunaan lahan, mobilisasi alat berat, dan pengaturan lalu lintas harus diperoleh dari otoritas terkait agar proyek berjalan tanpa hambatan. Pemasok material bekerja sama dengan tim logistik untuk memastikan pengiriman dilakukan tepat waktu dan sesuai spesifikasi. Semua pihak yang terlibat dalam proyek mendapatkan arahan yang jelas terkait jadwal dan tanggung jawab masing-masing untuk menghindari kesalahan selama proses persiapan.

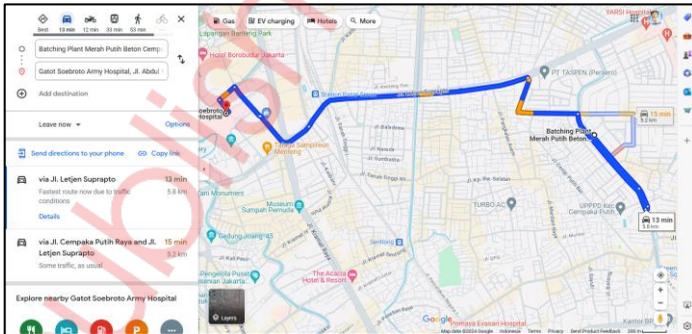


Gambar 17 Koordinasi dengan Berbagai Pihak

4. Tantangan

Tahap persiapan lokasi dan mobilisasi material sering menghadapi berbagai tantangan dalam hal spesifikasi kendaraan, volume pengiriman beton, jalur pengiriman

beton, dan durasi pengiriman beton. Pada proyek gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto meliputi pengiriman beton dari *batching plant* menuju *site project* menggunakan truk *mixer* Isuzu Giga FVZ K34 kapasitas pengisian beton normal 8 m^3 dengan jumlah armada yang tersedia sebanyak 10 - 15 unit disesuaikan dengan kebutuhan, setiap truk *mixer* akan diisi dengan maksimal 3 m^3 *High Density Concrete*, rute yang akan dilewati oleh truk *mixer* melalui Jalan Cempaka Putih Tengah > Jalan Cempaka Putih Barat > Jalan Cempaka Putih Raya > Jalan Letjend Suprpto > Jalan Senen Raya > Jalan Kwini II > Proyek (Google Maps terlampir), dan durasi pengiriman beton estimasi berkisar antara 30 menit sampai dengan 45 menit sesuai dengan keadaan lalu lintas terkini dengan perjalanan menempuh jarak sekitar 5,8 km.



Gambar 18 Transportasi Beton

5.2. Konstruksi Struktur Gedung

Pelaksanaan konstruksi struktur gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto mencakup berbagai tahapan teknis yang dirancang untuk memastikan bangunan memenuhi standar kekuatan, keamanan, dan perlindungan radiasi. Tahapan ini mencakup pengerjaan fondasi, kolom, balok, lantai, hingga dinding pelindung berbasis *High Density Concrete* (HDC) yang dirancang khusus untuk mendukung fungsi gedung sebagai fasilitas terapi radiasi berenergi tinggi.

1. Tahap Pekerjaan Struktur

Konstruksi struktur gedung dilakukan secara bertahap, dimulai dari fondasi hingga elemen struktur utama. Berikut adalah langkah-langkah utamanya:

a. Pekerjaan Fondasi

Fondasi gedung dirancang untuk menahan beban berat dari struktur atas dan peralatan terapi seperti proton *accelerator*. Prosesnya meliputi:

Penggalian dan Persiapan Tanah: Dilakukan sesuai desain fondasi, baik untuk fondasi dangkal seperti plat beton maupun fondasi dalam seperti tiang pancang atau *bored pile*.



Gambar 19 Pengeboran Fondasi *Bored Pile*

Pemasangan Tulangan dan Bekisting: Baja tulangan dipasang sesuai spesifikasi desain, diikuti pemasangan bekisting untuk pengecoran beton.



Gambar 20 Perakitan Tulangan Fondasi *Bored Pile*

Pengecoran Beton: Beton bermutu tinggi dengan kekuatan tekan tertentu digunakan untuk memastikan daya dukung yang optimal.



Gambar 21 Pengecoran Fondasi *Bored Pile*

b. Pekerjaan Kolom dan Balok

Kolom dan balok adalah elemen vertikal dan horizontal yang menopang beban struktur. Proses ini mencakup:

Perakitan Tulangan: Baja tulangan dirangkai sesuai spesifikasi desain dan diawasi ketat untuk memastikan kepatuhan terhadap standar teknik.



Gambar 22 Perakitan Tulangan

Pemasangan Bekisting: Bekisting digunakan untuk mencetak kolom dan balok. Material bekisting seperti kayu lapis atau baja dipilih berdasarkan kebutuhan.



Gambar 23 Pemasangan Bekisting

Pengecoran Beton HDC: Pada elemen struktur tertentu yang membutuhkan perlindungan radiasi, HDC digunakan. Kepadatan beton diperiksa berkala untuk memastikan kualitasnya.



Gambar 24 Pengecoran HDC

c. Pekerjaan Lantai

Lantai dirancang untuk menahan beban alat berat dan aktivitas gedung. Prosesnya meliputi:

Persiapan Tulangan: Baja tulangan disusun dengan jarak tertentu untuk menahan beban lentur dan geser.



Gambar 25 Perakitan Tulangan Lantai

Pengecoran dan Perataan Beton: Beton dituangkan dan diratakan menggunakan alat seperti trowel listrik untuk menghasilkan permukaan yang halus dan kuat.



Gambar 26 Pengecoran dan Perataan Beton

d. Pekerjaan Dinding Pelindung Radiasi

Dinding pelindung adalah elemen vital gedung, dirancang untuk menahan radiasi proton. Langkah-langkahnya meliputi:

Pemasangan Bekisting Khusus: Bekisting dirancang untuk mendukung ketebalan dan berat beton HDC.



Gambar 27 Pemasangan Bekisting Dinding

Pengecoran HDC: Dilakukan bertahap untuk memastikan homogenitas beton dan menghindari retakan. Vibrator digunakan untuk memadatkan beton agar tidak ada rongga udara.



Gambar 28 Pengecoran dan Pematatan Beton

Pengujian Ketebalan dan Kepadatan: Setelah beton mengeras, dilakukan pengujian untuk memastikan dinding memenuhi spesifikasi perlindungan radiasi.



Gambar 29 Pengetesan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

2. Teknik Khusus dalam Penerapan HDC

Penggunaan *High Density Concrete* (HDC) memerlukan pendekatan teknis khusus, antara lain:

Kontrol Suhu Pengecoran: Massa jenis tinggi HDC menyebabkan reaksi hidrasi menghasilkan panas lebih besar. Pendinginan aktif atau bahan tambahan seperti zat aditif digunakan untuk mengontrol suhu.



Gambar 30 Pemberian Zat Aditif untuk Mengontrol Suhu

Pemadatan Beton: Vibrator digunakan secara hati-hati untuk memastikan beton bebas dari rongga udara tanpa menyebabkan segregasi bahan.

3. Sistem Pengawasan dan Kontrol Kualitas

Kualitas konstruksi diawasi secara ketat untuk memastikan kepatuhan terhadap spesifikasi:

Pengujian Beton: Uji *slump* dilakukan untuk mengevaluasi *workability* beton, sementara uji tekan dilakukan pada sampel beton secara berkala untuk memastikan

kekuatannya. Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan metode *slump flow*. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Inspeksi Struktur: Inspeksi visual dan pengujian non-destruktif digunakan untuk mendeteksi potensi retakan atau cacat pada elemen struktur.



Gambar 31 Pengecekan Nilai *Slump*

Pemeriksaan Kuat Tekan Beton



MERAH PUTIH BETON
PT. MOTIVE MULIA - TECHNICAL DEPARTMENT
Head Office : Jl. Raya Cempaka Putih No. 104
Kad. Bojong Menteng Cac. Rawahlumbu, Kota Bekasi 17117



STRENGTH TEST CONCRETE RESULT
NO REF : 1785/ KARYA-PEKER/TECH-MPB-CEMPAKA PUTIH/2024

Batch Plant : Cempaka Putih
Contractor : PT. KARYA DAMAI PRATAMA
Project : PERSIAPAN KONSTRUKSI GEDUNG PROTON BEAM RESPAD GATOT SOEBROTO

No.	Date		Age (days)	Grade	Slump (cm)	Description of Specimen (Sample)			Strength Result		Percentage		
	Casting	Testing				Code	Type	Weight	Destructive Load	MPa		kg/cm ²	
1	25-Apr-24	2-May-24	6	Fc 30	50	DINDING	15x30	26.6	E	570	32.26	396.48	108%
2	27-Apr-24	2-May-24	5	Fc 30	52	DINDING	15x30	26.2	E	575	32.55	399.95	108%
3	28-Apr-24	2-May-24	4	Fc 30	54	DINDING	15x30	26.55	E	515	29.15	358.22	97%

Pengawasan Ketebalan Dinding Pelindung: Ketebalan dinding diukur menggunakan alat seperti *ultrasonic pulse velocity* untuk memastikan efektivitas perlindungan radiasi.

ID Sample	Element Of Structure			Average Direct Velocity [m/s]	Concrete Grade					Description
	Location	Type	As		>4500 m/s Excellent	3500-4500 m/s Good	3000-3500 m/s Medium	<3000 m/s doubtful		
U01	Basement	Core Wall	J-K/5-6	3752 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U02	Basement	Core Wall	J-K/4-5	3742 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U03	Basement	Core Wall	I-J/2-3	3487 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U04	Basement	Core Wall	G1-H/3-4	3596 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U05	Basement	Core Wall	G-G1/3	3419 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U06	Basement	Core Wall	G-G1/1-2	3399 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U07	Ground Floor	Pelat Lantai	J-K/3-4	3518 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U08	Ground Floor	Pelat Lantai	G1-H/1-2	3564 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U09	Ground Floor	Pelat Lantai	F-G/7	3198 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U10	Ground Floor	Pelat Lantai	D-E/7	3480 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U11	Basement	Core Wall	I-J/4-5	3251 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U12	Basement	Core Wall	G/6-7	3297 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U13	Basement	Core Wall	G/6-7	3431 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U14	Basement	Core Wall	D-E/6	3522 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U15	Basement	Core Wall	D-E/6-7	3304 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U16	Basement	Core Wall	J/10-11	3646 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U17	Basement	Basement Wall	E-F/7	3560 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U18	Basement	Basement Wall	A/2-3	3573 m/s	-	√	-	-	Good Concrete Grade	
U19	Basement	Basement Wall	C-D/1-2	3350 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	
U20	Basement	Basement Wall	B-C/8	3433 m/s	-	-	√	-	Medium Concrete Grade	

Gambar 32 Hasil *Ultrasonic Pulse Velocity*

4. Tantangan dan Solusi dalam Pelaksanaan

Terkait beberapa hal teknis yang sudah dibahas sebelumnya, kami mengindikasikan terkait kemungkinan

adanya kendala yang akan dihadapi selama pelaksanaan yaitu sebagai berikut:

- a. Kondisi lalu lintas pada jalur sepanjang Jalan Letjend Suprpto dimulai dari lampu merah *Flyover* Galur sampai dengan *Underpass* Senen yang sangat memungkinkan terjadinya kemacetan pada pagi hari jam 07.00 sampai siang hari jam 11.00.
- b. Kondisi cuaca di proyek yang sewaktu-waktu dapat berubah dari panas menjadi hujan pada jam-jam tertentu dikarenakan pergeseran musim di Indonesia yang bergeser sampai dengan Bulan Maret kemungkinan baru memasuki musim hujan.
- c. Pipa *embedded* yang terpasang terutama pipa dengan jenis *corrugated* HDPE sangat disarankan untuk tidak ditanam dalam *High Density Concrete* dan dipasang berdekatan tanpa celah dikarenakan tekanan beton yang sangat tinggi, berpotensi untuk menimbulkan kebocoran radiasi dan keropos dalam pelaksanaan pengecoran.
- d. Kabel instalasi *conduit* dikhawatirkan akan menimbulkan lubang bekas instalasi untuk pemasangan *thermocouple* dan berpotensi menimbulkan kebocoran radiasi.
- e. Penuangan *steel shot* di *steel shot feeder facility* secara manual memakan waktu yang lumayan lama sampai dengan 30 menit per *truk mixer* dan membutuhkan pergantian tenaga kerja yang banyak.

Terkait beberapa permasalahan yang sudah dibahas sebelumnya, tentunya kami juga memberikan saran/solusi penyelesaian berupa:

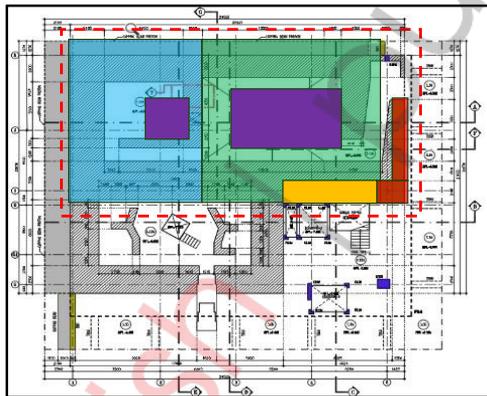
- a. Pengecoran selama sehari-hari diperlukan jadwal khusus untuk pengecoran seperti dijadwalkan untuk dicor di akhir pekan saat kondisi lalu lintas tidak padat.
- b. Persiapan yang matang diperlukan untuk menghadapi situasi dan kondisi tertentu dan apabila terjadi kondisi hujan maka diperlukan tenda dan juga terpal untuk melindungi lokasi cor dari tercampurnya beton dengan air hujan.
- c. Pipa *embedded* sebaiknya dicarikan solusi untuk tidak melewati beton *high density* dan untuk menghindari terjadinya keropos beton *high density* menggunakan *slump flow*.
- d. Pengecoran *High Density Concrete* tidak menggunakan *thermocouple* dikarenakan potensi kebocoran radiasi pada bekas instalasi kabel *thermocouple* dengan *conduit*.

5.3. Penuangan Beton HDC

Rencana pengecoran pada proyek pembangunan gedung *Proton Beam* di RSPAD Gatot Soebroto adalah tahapan penting dalam memastikan elemen struktur beton, terutama yang berbasis *High Density Concrete* (HDC), memenuhi spesifikasi teknis dan fungsional. Pengecoran ini mencakup perencanaan detail mulai dari persiapan material, prosedur pelaksanaan, hingga pengawasan mutu.

Pengecoran HDC terbagi ke dalam beberapa tahapan untuk mempermudah pelaksanaan dan mendapatkan waktu yang lebih efisien. Secara umum, pengecoran HDC di proyek Gedung *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto terbagi menjadi 3 tahap yaitu:

1. Tahap 1 meliputi dinding dan sebagian pelat lantai
2. Tahap 2 meliputi pelat lantai
3. Tahap 3 meliputi sisa dinding tahap 1

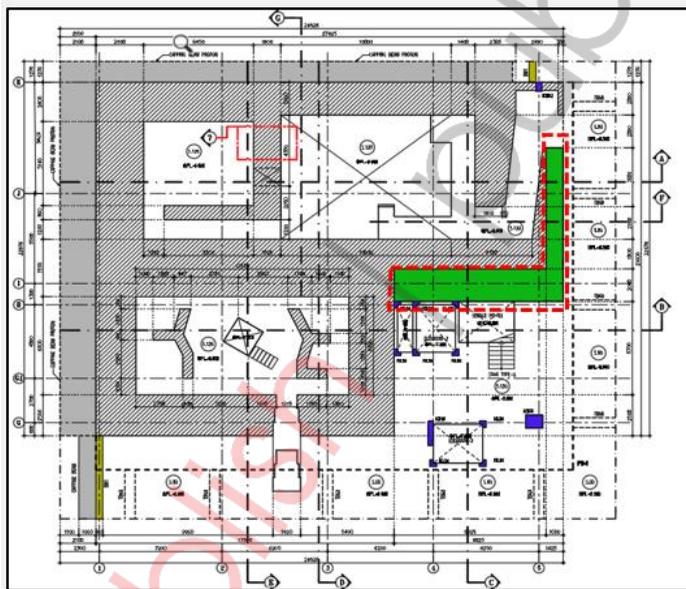


Gambar 33 Rencana Tahapan Pengecoran

Berdasarkan Gambar 33. berikut merupakan beberapa keterangan tahapan pelaksanaan pengecoran yang meliputi:

1. Warna merah merupakan area pengecoran tahap 1 - dinding ($141,70 \text{ m}^3$).
2. Warna biru merupakan area pengecoran tahap 1 - pelat ($194,54 \text{ m}^3$).
3. Warna hijau merupakan area pengecoran tahap 2 - pelat ($280,20 \text{ m}^3$).

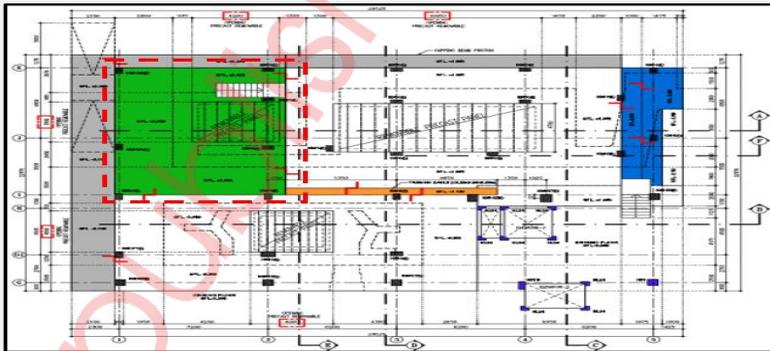
4. Warna *orange* merupakan area pengecoran tahap 3 - dinding (51,82 m³).
5. Warna ungu merupakan area *removable precast*.
6. Garis putus-putus warna merah merupakan area kerja HDC.



Gambar 34 *Layout* Pengecoran Dinding Tahap 1

Berdasarkan Gambar 34, Gambar 35 dan Gambar 36. berikut merupakan beberapa keterangan tahapan pelaksanaan pengecoran yang meliputi:

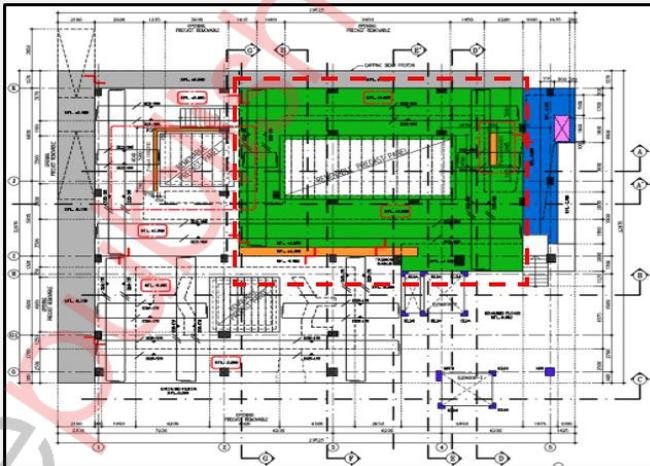
1. Pengecoran *High Density Concrete in-situ* untuk dinding tahap 1 as H – K /3 - 5 dengan ketebalan 1 meter ~ 2 meter dan ketinggian 5,20 meter.
2. Pengecoran dinding dilaksanakan dari elevasi -7,300 sampai dengan elevasi -2,100 (Potongan A dan Potongan C).
3. Estimasi volume pengecoran adalah 141,70 m³.
4. Volume beton per ritase truk *mixer* adalah 3,00 m³.
5. Durasi pembongkaran per truk *mixer* adalah 60 menit.
6. Produktivitas pembongkaran per jam 2 TM adalah 6,00 m³.
7. Durasi pengecoran dinding tahap 1 adalah $141,70 \text{ m}^3 / 6,00 \text{ m}^3/\text{jam} = 23,62 \text{ jam}$.



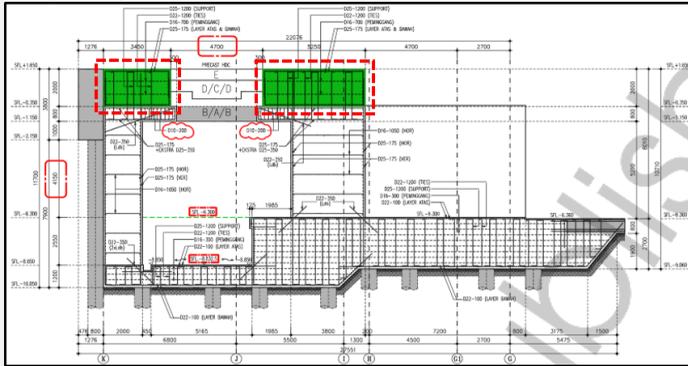
Gambar 37 *Layout* Pengecoran Pelat Tahap 2

Berdasarkan Gambar 37, Gambar 38 dan Gambar 39. berikut merupakan beberapa keterangan tahapan pelaksanaan pengecoran yang meliputi:

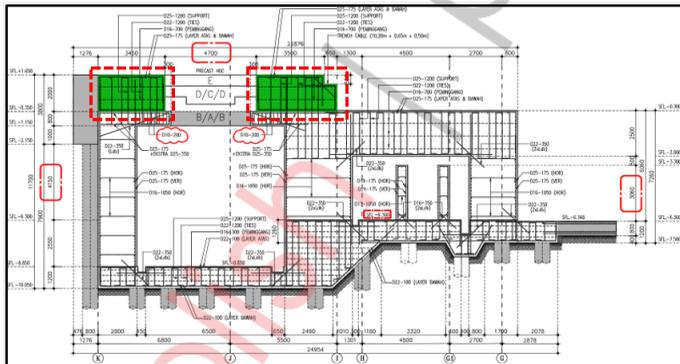
1. Pengecoran *High Density Concrete in-situ* untuk pelat tahap 1 as I – K/1 – 2 dengan ukuran panjang 12,30 m, lebar 8,25 m dan ketinggian 2,00 meter.
2. Pengecoran pelat dilaksanakan dari elevasi -1,700 sampai dengan elevasi +0,300 (Potongan A dan Potongan G).
3. Estimasi volume pengecoran adalah 194,54 m³.
4. Volume beton per ritase truk *mixer* adalah 3,00 m³.
5. Durasi pembongkaran per truk *mixer* adalah 60 menit.
6. Produktivitas pembongkaran per jam adalah 2 TM /3,00 m³.
7. Durasi pengecoran pelat lantai tahap 1 adalah 194,54 m³ /6,00 m³/jam = 32,42 jam.



Gambar 40 *Layout* Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2



Gambar 43 Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2, Potongan E

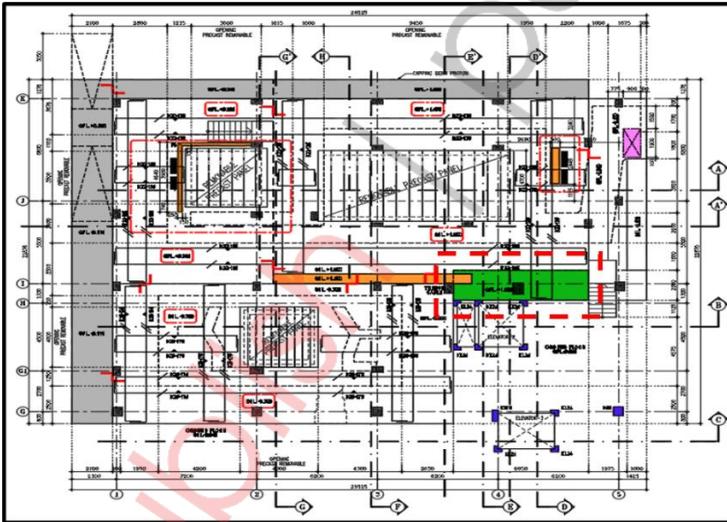


Gambar 44 Pengecoran Pelat dan Dinding Tahap 2, Potongan F

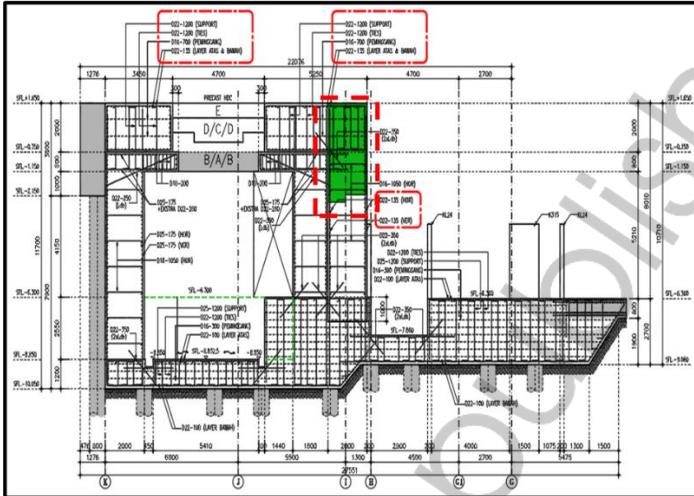
Berdasarkan Gambar 40, Gambar 41, Gambar 42, Gambar 43, dan Gambar 44. berikut merupakan beberapa keterangan tahapan pelaksanaan pengecoran yang meliputi:

1. Pengecoran *High Density Concrete in-situ* untuk tahap 2 meliputi pelat as I – K/2 – 5 dengan ukuran panjang 16,20 m, lebar 11,65 m dan ketinggian 2,00 meter.

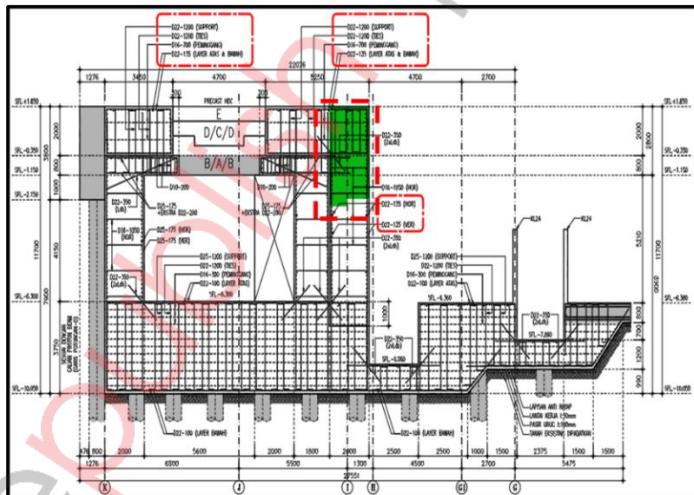
2. Pengecoran pelat dilaksanakan dari elevasi +1,650 sampai dengan elevasi -0,350 (Potongan A, D, E dan F).
3. Estimasi volume pengecoran adalah 280,20 m³.
4. Volume beton per ritase truk *mixer* adalah 3,00 m³.
5. Durasi pembongkaran per truk *mixer* adalah 60 menit.
6. Produktivitas pembongkaran per jam adalah 2 TM /6,00 m³.
7. Durasi pengecoran pelat lantai tahap 2 adalah 280,20 m³ /6,00 m³/jam = 46,80 jam.



Gambar 45 *Layout* Pengecoran Dinding Tahap 3



Gambar 46 Pengecoran Dinding Tahap 3, Potongan D



Gambar 47 Pengecoran Dinding Tahap 3, Potongan E

Berdasarkan Gambar 45, Gambar 46, dan Gambar 47. berikut merupakan beberapa keterangan tahapan pelaksanaan pengecoran yang meliputi:

1. Pengecoran *High Density Concrete in-situ* untuk tahap 3 meliputi dinding as H – J /3 – 5 dengan ukuran panjang 6,95 m, lebar 2,00 m dan ketinggian 3,75 meter.
2. Pengecoran dinding dilaksanakan dari elevasi -2,100 sampai dengan elevasi +1,650 (Potongan D dan E).
3. Estimasi volume pengecoran adalah 51,82 m³.
4. Volume beton per ritase truk *mixer* adalah 3,00 m³.
5. Durasi pembongkaran per truk *mixer* adalah 60 menit.
6. Produktivitas pembongkaran per jam adalah 2 TM /6,00 m³.
7. Durasi pengecoran dinding tahap 3 adalah 51,82 m³ /6,00 m³/jam = 8,64 jam.

Metode pengecoran untuk pekerjaan dinding menggunakan *bucket cor*, selang *tremie* dan *tower crane/mobile crane*. Dari hasil trial pada tanggal 23 April 2024 didapatkan satu siklus untuk penuangan menggunakan *bucket cor* adalah 10 menit sehingga estimasi pembongkaran untuk 1 truk *mixer* dengan kapasitas 3 m³ adalah ±60 menit (diluar proses pengecekan mutu). Adapun keterangan pengecoran beton yang dilaksanakan, sebagai berikut:

1. Kapasitas *bucket cor* normal 0,8 m³ – 1 m³.
2. Kapasitas pengisian HDC dalam *bucket cor* maksimal 0,5 m³.
3. Berat HDC dalam *bucket cor* 2,4 Ton /2.400 kg.
4. Berat *bucket cor* 0,3 Ton /300 kg.

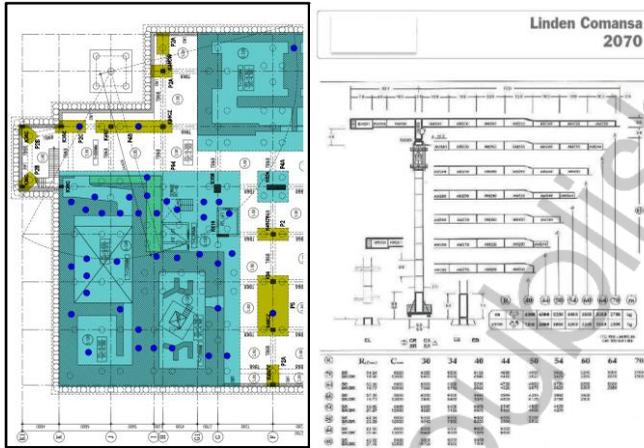
5. Berat *bucket cor* + berat HDC = 2,7 Ton /2.700 kg.
6. Produktivitas pembongkaran dengan *bucket cor* 60 menit /TM atau 3,00 m³/jam.



Gambar 48 Pengecoran Menggunakan *Bucket Cor*

Pada pengecoran *precast*, penggunaan *tower crane Linden Comansa 2070* kapasitas maksimum 2 Ton (di ujung jib) untuk pengecoran dengan *bucket cor*. Adapun keterangan pengecoran beton yang dilaksanakan, sebagai berikut:

1. Radius *tower crane* 24,4 meter.
2. Pembebanan HDC pada jib 24,4 meter 2,7 Ton.
3. Kapasitas beban pada jib 30 meter 4,0 Ton.
4. *Check* kapasitas 2,7 Ton < 4,0 Ton (Aman).



Gambar 49 Radius Penggunaan Tower Crane untuk Pengecoran High Density Concrete



Sany STC250 Kap. 25 Ton

Technical parameter Sany STC250

Gambar 50 Penggunaan Mobile Crane Sany STC250 Kapasitas Maksimum 25 Ton untuk Pengecoran dengan Bucket Cor

Perawatan Beton (*Curing*)

Curing ini dilaksanakan dengan menyiramkan air mengalir pada bagian permukaan bidang yang sudah dicor. Air yang mengalir akan memenuhi bagian permukaan atas yang dicor dan mengalir ke bawah menerus di samping-samping bidang yang dicor. Pengaliran air akan dilaksanakan dengan memberikan pipa-pipa yang dilubangi sehingga air akan mengalir secara konstan. *Curing* dengan metode ini akan dilaksanakan sampai dengan 14 hari setelah bidang selesai dicor.



Gambar 51 *Curing* dengan Penyiraman Air

Pada Gambar 51, merupakan *curing* yang dilaksanakan dengan memberikan geotekstil *non woven* yang kemudian dibasahi air pada bagian permukaan bidang yang sudah dicor. Geotekstil yang digunakan akan menghambat perubahan suhu secara signifikan pada permukaan beton. Metode ini dapat digunakan sebagai alternatif yang bisa digunakan sebagai tambahan apabila *curing* dengan penyiraman air kurang efektif.



Gambar 52 *Curing* dengan Geotekstil non Woven

Monitoring Kuantitas (*Quantity*)

In-situ Concrete Quantity Measurements

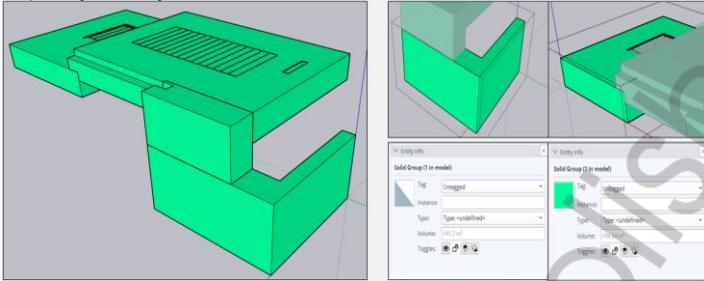
Mengukur kuantitas beton *in-situ* adalah langkah penting dalam memastikan akurasi material yang dibutuhkan dan digunakan dalam proyek konstruksi. Untuk pembangunan gedung *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto, penghitungan kuantitas beton dilakukan secara rinci, mencakup setiap elemen struktur seperti fondasi, kolom, balok, lantai, dan dinding pelindung berbasis *High Density Concrete* (HDC). Monitoring volume dibutuhkan untuk memastikan bahwa pemesanan untuk pemenuhan kebutuhan material *High Density Concrete* sudah sesuai dan tidak mengalami kurang/lebih. Adapun secara kuantitatif, berikut adalah *volume High Density Concrete* yang dicor secara *in-situ* di *site* proyek:

Tahap 1 = 336,24 m³.

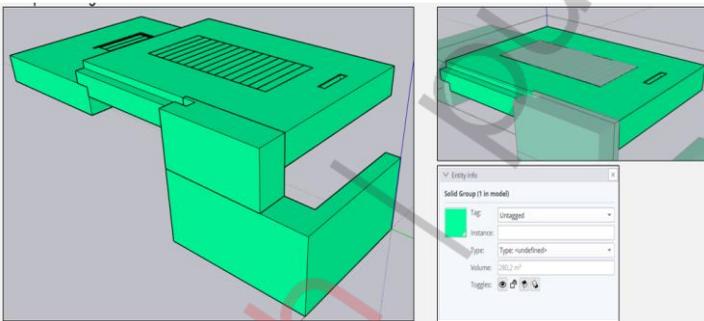
Tahap 2 = 280,20 m³.

Tahap 3 = 51,82 m³.

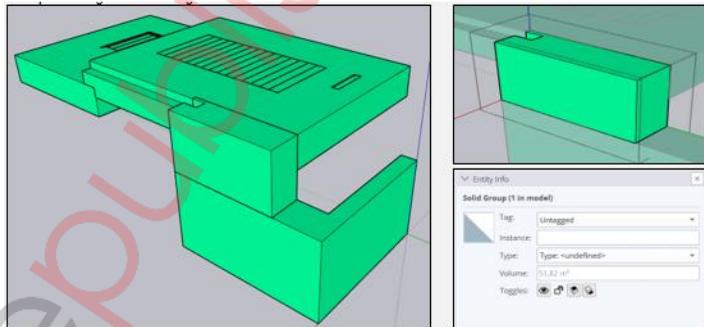
Total = 668,26 m³.



Gambar 53 Pengecoran Dinding dan Pelat Tahap 1



Gambar 54 Pengecoran Pelat Tahap 2

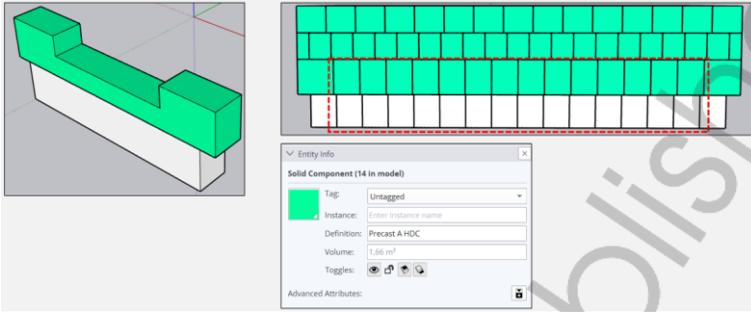


Gambar 55 Pengecoran Dinding Tahap 3

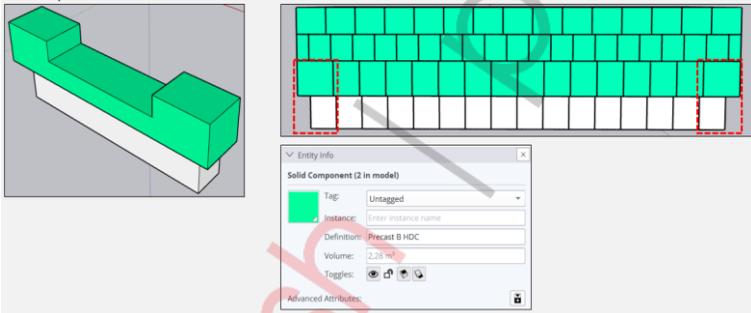
Precast Concrete Quantity Measurements

Penggunaan beton pracetak (*precast concrete*) dalam proyek pembangunan gedung *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto menawarkan keuntungan berupa efisiensi waktu, kontrol kualitas yang lebih baik, dan pengurangan ketergantungan pada aktivitas pengecoran di lokasi. Untuk mengukur kuantitas beton pracetak, diperlukan pendekatan yang terstruktur berdasarkan desain dan elemen struktur yang akan dibuat. Monitoring volume dibutuhkan untuk memastikan bahwa pemesanan untuk pemenuhan kebutuhan material *High Density Concrete* sudah sesuai dan tidak mengalami kurang/lebih. Adapun secara kuantitatif, berikut adalah jumlah *precast High Density Concrete* baik yang dicor secara kombinasi antara *normal concrete* dengan *High Density Concrete* atau *High Density Concrete* penuh adalah:

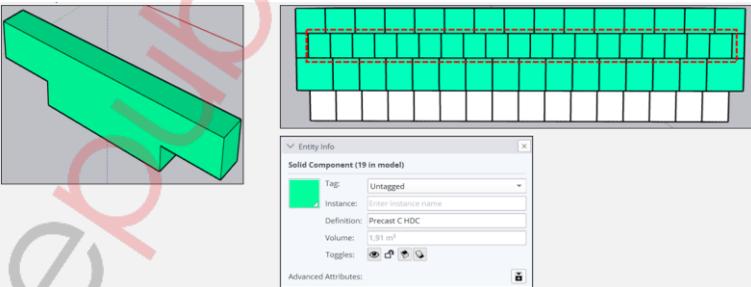
<i>Precast</i> tipe A	= 14 unit x 1,66 m ³	= 23,18 m ³
<i>Precast</i> tipe B	= 2 unit x 2,28 m ³	= 4,55 m ³
<i>Precast</i> tipe C	= 19 unit x 1,91 m ³	= 36,29 m ³
<i>Precast</i> tipe D	= 2 unit x 1,05 m ³	= 2,10 m ³
<i>Precast</i> tipe E	= 15 unit x 1,89 m ³	= 28,34 m ³
<i>Precast</i> tipe F	= 4 unit x 1,42 m ³	= 5,66 m ³
<i>Precast</i> tipe G	= 2 unit x 2,12 m ³	= 4,25 m ³
<i>Precast</i> tipe H	= 5 unit x 1,55 m ³	= 7,75 m ³
<i>Precast</i> tipe I	= 4 unit x 1,32 m ³	= 5,27 m ³
<i>Precast</i> tipe J	= 7 unit x 1,40 m ³	= 9,83 m ³
Total	= 119 unit	= 127,23 m³



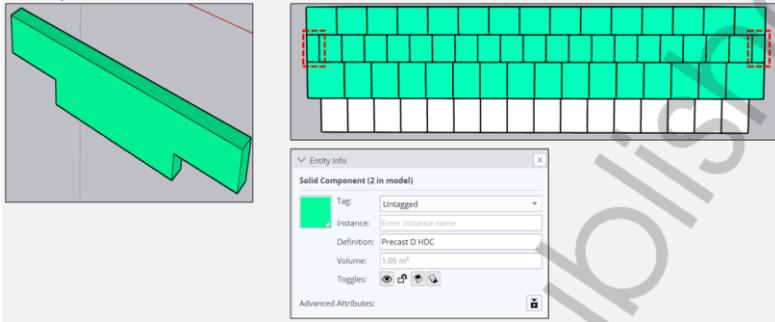
Gambar 56 *Precast Tipe A*



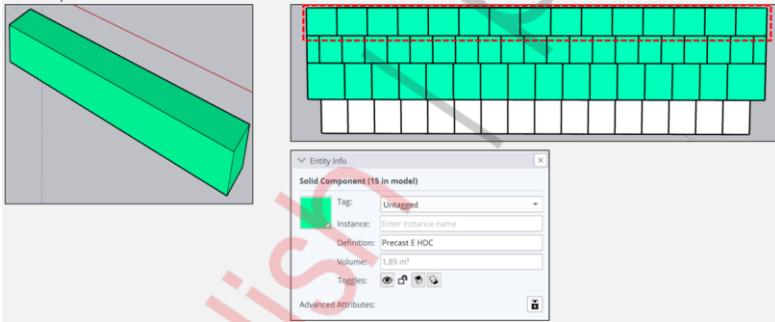
Gambar 57 *Precast Tipe B*



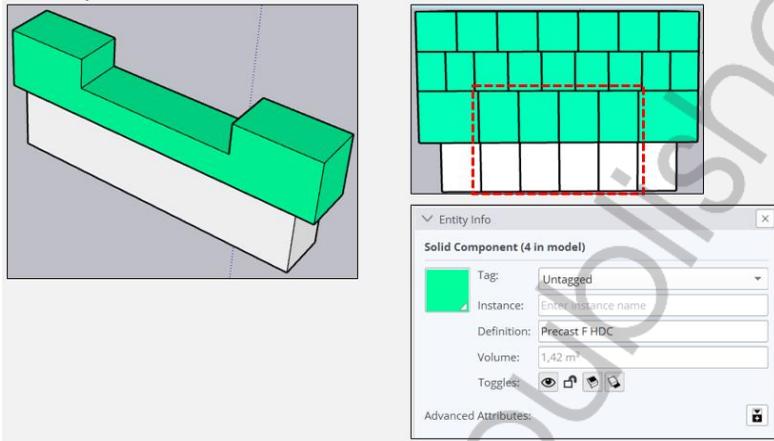
Gambar 58 *Precast Tipe C*



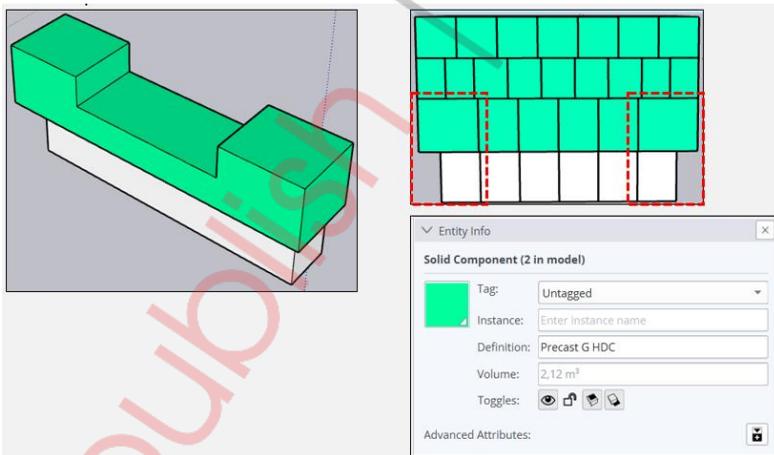
Gambar 59 *Precast Tipe D*



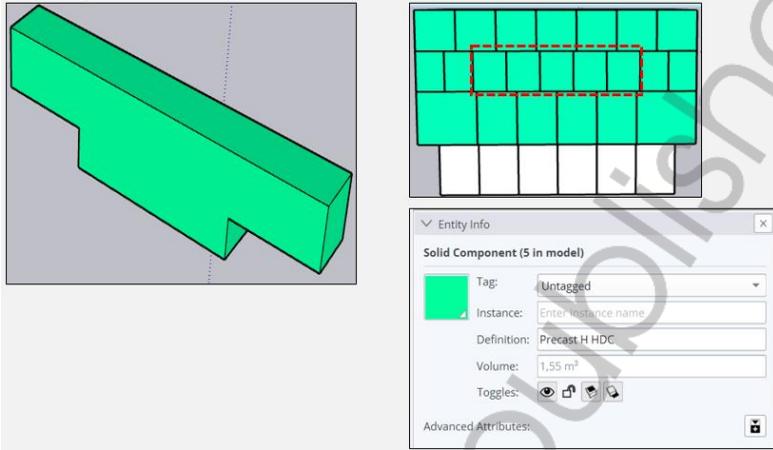
Gambar 60 *Precast Tipe E*



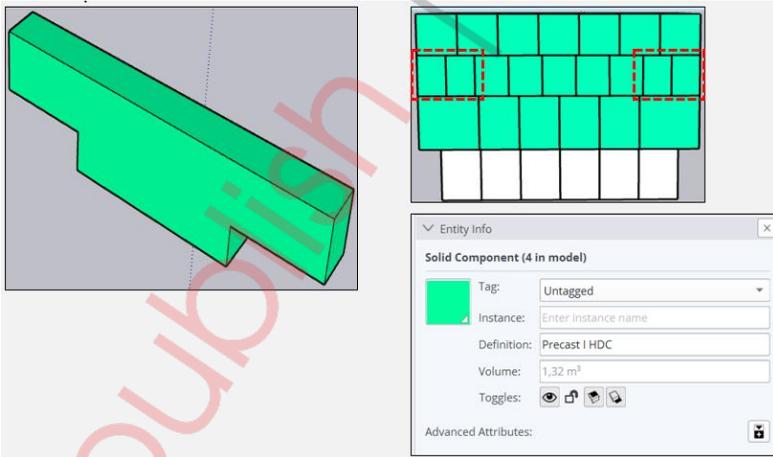
Gambar 61 Precast Tipe F



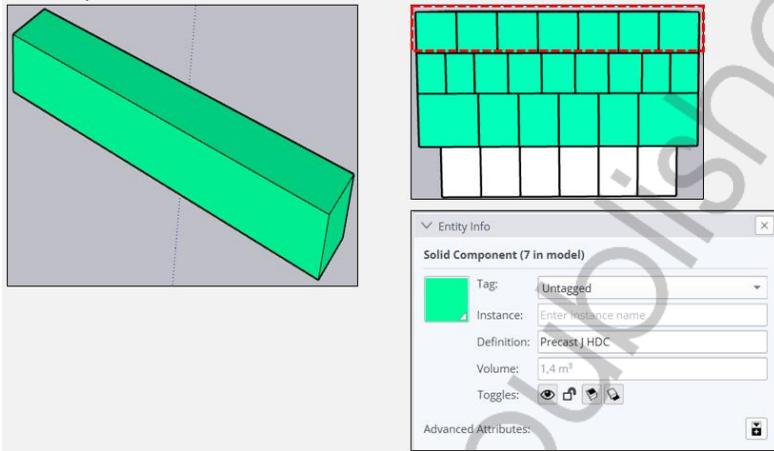
Gambar 62 Precast Tipe G



Gambar 63 *Precast Tipe H*



Gambar 64 *Precast Tipe I*



Gambar 65 Precast Tipe J

Monitoring Densitas Beton/*Concrete Density Monitoring*

Monitoring terhadap densitas beton dilaksanakan sebagai bentuk untuk menjaga kualitas beton agar tetap sesuai dengan densitas yang dipersyaratkan yaitu $4,8 \text{ Ton/m}^3$. Monitoring ini dilaksanakan dengan metode penimbangan terhadap berat beton dalam benda uji kemudian membagi berat tersebut dengan volume beton. Monitoring ini dilaksanakan dengan acuan/ketentuan sebagai berikut:

1. Pelaksanaan monitoring densitas beton akan dilaksanakan di *batching plant* dan proyek dengan pengambilan sejumlah 2 sampel beton pada setiap truk *mixer* untuk diambil berat rata-rata dari keduanya.
2. Apabila terdapat truk *mixer* yang tidak memenuhi densitas beton akan langsung ditolak.

3. Berat beton segar minimal adalah 25,44 kg per sampel (tanpa silinder beton plastik).
4. Berat cetakan silinder beton plastik adalah 1,00 kg per buah (diameter 15 cm dan ketinggian 30 cm).
5. Berat total beton segar + silinder beton plastik 26,25 kg per sampel.
6. Berat jenis beton minimal 4,800 kg per m³ adalah syarat mutlak terpenuhinya persyaratan pengecoran.



Gambar 66 Pemeriksaan Berat Beton

Monitoring Kuat Tekan/*Compressive Strength Monitoring*

Monitoring terhadap kuat tekan beton dilaksanakan sebagai bentuk untuk menjaga kualitas beton agar tetap sesuai dengan kuat tekan beton yang dipersyaratkan yaitu f_c' 30 MPa. Monitoring ini dilaksanakan dengan metode membuat benda uji dari beton segar dengan silinder diameter 15 cm dengan ketinggian 30 cm. Sampel benda uji akan dibuat di lokasi proyek dan mengacu dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk pengecoran truk *mixer* ke-1 = 1 set benda uji.
2. Untuk pengecoran truk *mixer* ke-2 s.d. ke-5 = 1 set benda uji.
3. Untuk pengecoran truk *mixer* ke-6 s.d. ke-10 = 1 set benda uji.
4. Untuk pengecoran tiap kelipatan 10 truk *mixer* selanjutnya = 1 set benda uji.

Di mana 1 set benda uji terdiri dari 4 benda uji untuk 4 kali *test*

1. Tes umur 7 hari = 1 benda uji = Sofoco Kebayoran Lama.
2. Tes umur 14 hari = 1 benda uji = Sofoco Kebayoran Lama.
3. Tes umur 28 hari = 2 benda uji = Lab. PT. Motive Mulia Cempaka Putih.



Gambar 67 Silinder Beton

Berikut ini adalah perhitungan jumlah sampel kuat tekan beton yang akan dibuat sesuai dengan tahapan pengecoran (Tabel 4).

Tabel 4 Rekapitulasi Jumlah Benton untuk Pemeriksaan Kuat Tekan

Rekapitulasi Perhitungan Jumlah Sampel Beton untuk Tes Kuat Tekan					
No	Uraian	Satuan	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
a	Volume pengecoran	m3	336,24	280,20	51,82
b	Kapasitas truk mixer	m3	3	3	3
c	Jumlah truk mixer	unit	113	94	18
1	Sampel TM Ke 1	set	1	1	1
2	Sampel TM Ke 2-5	set	1	1	1
3	Sampel TM Ke 6-10	set	1	1	1
4	Sampel TM Ke 20	set	1	1	1
5	Sampel TM Ke 30	set	1	1	-
6	Sampel TM Ke 40	set	1	1	-
7	Sampel TM Ke 50	set	1	1	-
8	Sampel TM Ke 60	set	1	1	-
9	Sampel TM Ke 70	set	1	1	-
10	Sampel TM Ke 80	set	1	1	-
11	Sampel TM Ke 90	set	1	1	-
12	Sampel TM Ke 100	set	1	1	-
13	Sampel TM Ke 110	set	1	-	-
Jumlah sampel beton			13	12	4
			29		

Monitoring Nilai *Slump/Slump Value Monitoring*

Monitoring terhadap nilai *slump* beton dilaksanakan sebagai bentuk untuk menjaga kualitas beton agar tetap sesuai dengan nilai kelecakan (*workability*) sehingga beton masih dapat dikerjakan dengan baik. Monitoring ini dilaksanakan dengan melaksanakan *slump test* pada beton segar dan mencatat nilai

slump yang dihasilkan. Monitoring ini dilaksanakan dengan acuan/ketentuan sebagai berikut:

1. Pada dokumen RKS nilai *slump* untuk *High Density Concrete* tidak dipersyaratkan /tidak tercantum.
2. Berdasarkan hasil pengujian *trial mix* didapatkan nilai *slump* berkisar di antara angka 18 ± 2 cm. Pengujian ini akan dilaksanakan pada truk *mixer* mengikuti ritme pengambilan sampel untuk kuat tekan beton dan dilaksanakan di lokasi proyek.
3. Berdasarkan hasil *trial mix* dan rapat koordinasi disepakati *slump* menjadi *slump flow* dengan nilai 50 – 65 cm.
4. Tidak akan ada penolakan truk *mixer* yang didasarkan berdasarkan nilai *slump* dikarenakan tidak ada persyaratan dalam RKS.



Bab 6

Tantangan dan Solusi dalam Pembangunan Konstruksi

6.1. Tantangan dalam Penggunaan HDC

High Density Concrete (HDC) merupakan material inovatif yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan konstruksi khusus, seperti perlindungan radiasi pada gedung *Proton Beam Therapy*. Meskipun memiliki berbagai keunggulan, seperti densitas tinggi dan kemampuan isolasi radiasi, penggunaan HDC menghadirkan tantangan unik yang perlu diantisipasi agar pelaksanaannya optimal.

Konsistensi Campuran

Densitas tinggi pada HDC memerlukan pencampuran presisi untuk memastikan distribusi agregat berat (seperti barit atau *magnetit*) merata dalam campuran. Berat agregat yang tinggi meningkatkan risiko segregasi material selama

pencampuran atau pengecoran. Untuk mengatasi hal tersebut dengan menggunakan *mixer* berkapasitas besar dengan putaran tinggi dan menambahkan bahan pencampur (*admixture*) untuk meningkatkan kohesi.

Waktu pengerasan beton HDC biasanya lebih cepat karena kandungan material padat, menyulitkan pengangkutan dan pengecoran jika lokasi konstruksi jauh. Oleh karena itu, penempatan *batching plant* dekat dengan lokasi konstruksi dan menambahkan bahan *retardant* untuk memperpanjang waktu pengerasan.

Ketebalan Elemen Saat Pengecoran

Elemen pelindung radiasi, seperti dinding pelindung, memiliki ketebalan besar (hingga 1,5 meter atau lebih). Pengecoran beton dengan ketebalan seperti ini memerlukan perhatian ekstra untuk mencegah retakan atau rongga. Untuk mengatasi hal tersebut, maka saat melakukan pengecoran bertahap dengan jeda waktu yang sesuai dan menggunakan alat vibrator beton untuk memastikan beton padat tanpa rongga.

HDC cenderung memiliki *workability* rendah akibat kandungan agregat berat, sehingga menyulitkan penyebaran beton dalam bekisting. Solusi hal tersebut yaitu dengan menambahkan *superplasticizer* untuk meningkatkan aliran beton dan menggunakan metode *self-compacting concrete* (SCC) untuk mempermudah penyebaran.

Kontrol Kualitas

Densitas HDC harus memenuhi spesifikasi tertentu untuk memastikan efektivitasnya dalam melindungi radiasi. Pengujian

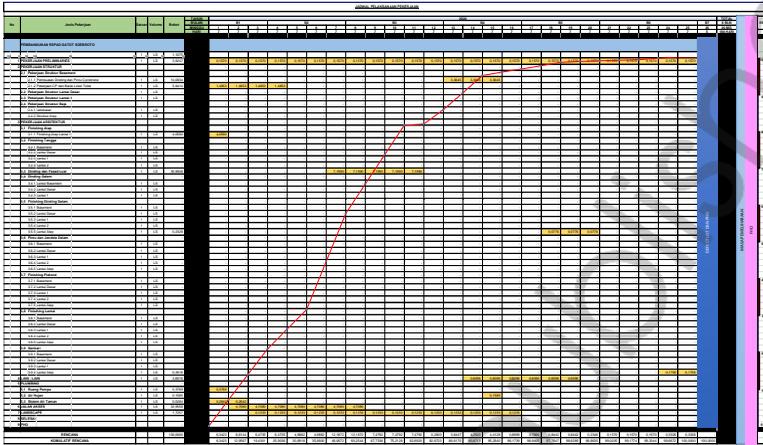
ini membutuhkan peralatan khusus dan metode lebih kompleks. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian material di laboratorium sebelum pengecoran dan menggunakan alat uji densitas *in-situ* untuk memastikan kualitas hasil pengecoran. Di samping itu, Agregat berat dalam HDC membuat pemadatan lebih sulit, dan kekurangan pemadatan dapat menyebabkan rongga udara yang mengurangi kekuatan dan efektivitas material. Sehingga untuk mengantisipasi dengan menggunakan vibrator beton intensitas tinggi dan melakukan pengawasan ketat selama proses pengecoran.

6.2. Pengelolaan Waktu dan Penentuan Anggaran Pembangunan Gedung *Proton Beam*

Pengelolaan waktu dan anggaran dalam pembangunan gedung *Proton Beam* sangat krusial untuk keberhasilan proyek. Gedung ini memiliki spesifikasi teknis yang sangat tinggi, termasuk penggunaan *High Density Concrete* (HDC) untuk perlindungan radiasi, yang mempengaruhi setiap tahap pembangunan. Oleh karena itu, pengelolaan yang efisien dan tepat waktu sangat diperlukan untuk memastikan proyek selesai sesuai jadwal dan anggaran yang telah ditetapkan.

Penjadwalan yang Tepat

Pembangunan gedung *Proton Beam* melibatkan berbagai tahapan teknis yang memerlukan waktu lebih lama, seperti pengadaan material khusus, pengecoran HDC, dan instalasi sistem pelindung radiasi.



Gambar 68 Kurva S Pembangunan Konstruksi

Koordinasi Antartim

Banyaknya sub-kontraktor dan penyedia material yang terlibat dalam proyek dapat menyebabkan miskomunikasi dan keterlambatan.



Gambar 69 Alur Koordinasi Antar-subkontraktor

Manajemen Risiko

Hal yang menjadi hambatan utama dalam pencapaian tujuan proyek yakni perubahan yang terjadi selama masa pelaksanaan proyek. Permasalahan yang makin bertambah dari

meningkatnya ukuran pada proyek sejalan dengan kondisi ketidakpastian hasil proyek akan semakin meningkat. Kondisi risiko dan ketidakpastian yang semakin meningkat akan mempengaruhi seluruh *item* pekerjaan pada proyek sehingga dibutuhkan pendekatan manajemen risiko dalam mengelola proyek.

Manajemen risiko pada tahap perencanaan merupakan mengidentifikasi risiko proyek dan membangun strategi untuk mengurangi dan menghindari risiko dengan memaksimalkan peluang yang ada, meliputi proses pengambilan keputusan yang dilakukan selama proyek berlangsung. Dalam hal manajemen proyek, yang mempengaruhi risiko merupakan kegagalan mempertahankan biaya, waktu dan mencapai kualitas serta keselamatan kerja.

Risiko pada proyek konstruksi merupakan probabilitas kejadian yang muncul dalam satu periode waktu dan dapat terjadi secara alami di situasi tertentu. Faktor risiko dapat diminimalkan dan diminimalisir dampaknya, di mana peluang terjadinya risiko selalu ada dalam tahapan kegiatan proyek konstruksi meliputi tahapan perencanaan, perancangan, pelaksanaan dan tahapan penyelesaian.

1. Identifikasi risiko

Proses peninjauan area-area pada proses-proses teknis yang berpotensi memiliki faktor risiko potensial mempengaruhi pencapaian sasaran biaya, kinerja (*performance*) dan waktu penyelesaian proyek. Identifikasi risiko ialah proses peninjauan seluruh risiko untuk dianalisis dan diketahui respons risiko yang dilakukan, agar tidak berdampak buruk bagi proyek.

Menurut *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*, langkah dalam tahapan identifikasi risiko adalah peninjauan kembali dokumen, teknik pengumpulan informasi, analisis *checklist*, analisis asumsi dan dengan teknik diagram.

2. Analisis risiko

Analisis risiko merupakan proses mencari informasi/deskripsi lebih spesifik terhadap risiko yang telah diidentifikasi meliputi kuantifikasi risiko dalam probabilitas, penyebab terjadinya dan keterkaitan risiko. Sedangkan perkiraan dampak risiko menyelidiki tentang efek yang potensial mempengaruhi kualitas konstruksi seperti waktu, harga dan mutu pekerjaan berdasarkan PMBOK (2004).

Indeks level risiko dikelompokkan ke dalam empat tingkatan kelas yaitu:

- a. *High risk* (H), variabel yang mempunyai tingkat risiko paling tinggi, Kesalahan yang terjadi berdampak pada hal yang lainnya dan perlu pengamatan rinci serta penanganannya harus pada level pimpinan.
- b. *Significant risk* (S), risiko yang menyebabkan kegagalan sehingga produktivitas menurun, perlu ditangani oleh manajer proyek.
- c. *Medium risk* (M), variabel risiko yang ditangani langsung di tingkat proyek.
- d. *Low risk* (L) risiko rutin mempunyai tingkat risiko yang tidak terlalu penting bahkan cenderung dapat diabaikan.

Probabilitas merupakan peluang atau kemungkinan terjadinya suatu risiko yang didasarkan pada tahapan proses analisis statistik (*experience judgement*). Rating Probabilitas adalah mulai sangat kecil sampai dengan sangat besar yakni berkisar antara nilai satu sampai dengan lima (1-5).

Tabel 5 Kriteria Pengukuran Probabilitas/Peluang
(Collin Duffield, 2003 & Ismeth Abidin, 2010)

Pengukuran			Kriteria	
No	Keterangan	Nilai	Kuantitatif	Kualitatif
1	Sangat kecil	1	Kemungkinan terjadi < 10%	Jarang terjadi
2	Kecil	2	10% < kemungkinan terjadi < 40%	Kadang terjadi pada setiap kondisi
3	Sedang	3	40% < kemungkinan terjadi < 60%	Terjadi pada kondisi tertentu
4	Besar	4	60% < kemungkinan terjadi < 80%	Sering terjadi pada setiap kondisi
5	Sangat besar	5	80% < kemungkinan terjadi < 95%	Selalu terjadi pada setiap kondisi

Di samping itu, skala dampak merefleksikan tingkat pengaruh /akibat yang bersifat negatif terhadap pencapaian sasaran sehingga dapat merugikan

perusahaan di mana dasar penilaiannya dikonversi ke dalam nilai skala satu sampai dengan lima.

Tabel 6 Kriteria Pengukuran/Rating Dampak

(Collin Duffield, 2003 & Ismeth Abidin, 2010)

Pengukuran			Kriteria	
No	Keterangan	Nilai	Kuantitatif	Kualitatif
1	Sangat kecil/ <i>significant</i>	1	0% < deviasi < 2%	Kerugian keuangan tidak begitu berarti (tidak berpengaruh)
2	Kecil	2	2% < deviasi < 5%	Kerugian keuangan menjadi biaya <i>overhead</i> (berpengaruh pada area minor/internal)
3	Sedang/ <i>medium</i>	3	5% < deviasi < 10%	Kerugian keuangan cukup berarti (berpengaruh pada area mayor/eksternal)
4	Besar/ <i>mayor</i>	4	10% < deviasi < 15%	Adanya kegagalan, kerugian keuangan serius (berpengaruh pada <i>core</i> bisnis dan aset)
5	Sangat besar/ <i>catastrophic</i>	5	deviasi > 2%	Kerugian besar (berpengaruh pada reputasi dan aset utama)

3. Penanganan risiko sumber risiko

Penanganan risiko menurut Mark S. Dorfman (2000), menggunakan *Profiling/Risk Mapping* yakni dengan *loss control* dan *risk financing*.

Loss control merupakan kegiatan meminimalisir kerugian yang diharapkan dapat mengurangi frekuensi dan dampak, metode ini dibagi menjadi tiga penerapan yaitu:

- a. *Risk avoidance*, penerapan dengan menghindari memproduksi produk berbahaya.
- b. *Loss prevention*, metode untuk mencegah terjadinya kerugian atau kehilangan.
- c. *Loss reduction*, metode memperkecil dampak-dampak kerugian yang terjadi.

Sedangkan *Risk Financing* ialah metode untuk menentukan kapan dan kepada siapa kerugian ditanggungkan. Metode *Risk Financing* dibagi menjadi empat yaitu:

- a. *Risk assumption*, dengan cara menerima akibat dari segala risiko yang terjadi.
- b. *Retention*, menahan obligasi untuk mengganti sebagian /seluruh kerugian.
- c. *Risk transfer*, yaitu memperbolehkan untuk mentransfer risiko ke pihak lain.
- d. *Insurance*, mengasuransikan segala sesuatu yang mempunyai potensi besar untuk terjadi risiko, kepada perusahaan asuransi.

Manajemen risiko selama pelaksanaan proyek pembangunan gedung *Proton Beam* RSPAD Gatot Subroto, meliputi:

1. Terkait lamanya waktu pengecoran yang bisa menghabiskan waktu sehari-hari, maka perlu diatur tim yang dipersiapkan dalam menghadapi pengecoran.
2. Kondisi lalu lintas pada jalur sepanjang Jalan Letjend Suprpto dimulai dari lampu merah *Flyover* Galur sampai dengan Underpass Senen yang sangat memungkinkan terjadinya kemacetan pada pagi hari jam 07.00 sampai siang hari jam 11.00
3. Kondisi cuaca di proyek yang sewaktu-waktu dapat berubah dari panas menjadi hujan pada jam-jam tertentu dikarenakan pergeseran musim di Indonesia yang bergeser sampai dengan Bulan Maret kemungkinan baru memasuki musim hujan
4. Pipa *embedded* yang terpasang terutama pipa dengan jenis *corrugated* HDPE sangat disarankan untuk tidak ditanam dalam *High Density Concrete* dan dipasang berdekatan tanpa celah dikarenakan tekanan beton yang sangat tinggi, berpotensi untuk menimbulkan kebocoran radiasi dan kerosok dalam pelaksanaan pengecoran
5. Kabel instalasi *conduit* dikhawatirkan akan menimbulkan lubang bekas instalasi untuk pemasangan *thermocouple* dan berpotensi menimbulkan kebocoran radiasi
6. Penuangan *steel shot* di *steel shot feeder facility* secara manual memakan waktu yang lumayan lama sampai dengan 30 menit per truk *mixer* dan membutuhkan pergantian tenaga kerja yang banyak.

Glosarium

Basic design:

rancangan awal atau desain dasar yang digunakan sebagai acuan/referensi oleh konsultan perencana dalam pembuatan DED.

Beton cast in situ:

suatu metode pekerjaan untuk pembuatan beton yang dilakukan secara langsung di lokasi atau lapangan kerja.

Boring test:

metode penyelidikan tanah yang bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan jenis setiap lapisan tanah yang akan dijadikan lokasi fondasi bangunan. Umumnya menggunakan mesin bor hidrolik yang pada proses pengeboran dilakukan pengambilan sampel tanah.

Bucket:

komponen dari ekskavator untuk menunjang fungsi utama saat mengeruk material.

Design and build (rancang dan bangun):

pekerjaan yang berhubungan dengan pembangunan suatu bangunan atau pembuatan wujud fisik, di mana adanya integrasi pekerjaan desain dengan pelaksanaan konstruksi.

Detail Engineering Design (DED):

dokumen desain teknis bangunan yang dijadikan sebagai acuan pelaksanaan proyek pekerjaan sipil yang terdiri dari gambar kerja, spesifikasi teknis dan spesifikasi umum.

Elevasi:

posisi ketinggian suatu objek dari satu titik tertentu.

Engineering estimate:

rencana perhitungan estimasi biaya untuk suatu paket pekerjaan konstruksi yang dibuat oleh konsultan perencana untuk mengetahui harga dari tiap *item* pekerjaan selama pelaksanaan konstruksi.

Konsultan Manajemen Konstruksi:

pihak atau individu profesional yang bertanggung jawab untuk memberikan layanan konsultasi dan pengelolaan dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Mereka bertindak sebagai penasihat, pengelola, atau pengawas bagi pemilik proyek (*owner*) dalam mengelola seluruh aspek proyek konstruksi, termasuk perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan pengendalian hingga penyelesaian proyek.

Konsultan perencana:

individu atau badan usaha yang membuat perencanaan bangunan secara lengkap.

Kontraktor pelaksana:

individu atau badan usaha yang dinyatakan ahli dan profesional dalam menyelenggarakan pekerjaan konstruksi yang sesuai dengan standar mutu, waktu dan biaya yang sudah ditetapkan.

Mechanical, Electrical & Plumbing (MEP):

desain keseluruhan sistem dalam suatu bangunan yang berkaitan dengan sistem mekanikal, sistem elektrikal dan sistem *plumbing* yang mendukung fungsi operasi bangunan tersebut.

Pemilik proyek atau pengguna jasa:

individu atau badan usaha sebagai pemberi tugas atau pemilik pekerjaan/proyek yang memerlukan layanan jasa konstruksi serta memiliki kemampuan untuk membiayai proyek.

Wing wall:

struktur beton bertulang yang berhubungan pada struktur utama bangunan, berfungsi untuk melindungi bagian belakang *abutment* dari tekanan tanah yang bekerja sehingga *abutment* tidak mengalami gaya horizontal akibat dorongan atau tekanan tanah yang bekerja.

Dokumentasi

Kunjungan dari APBRI (Asosiasi Beton Readymix Indonesia)



Kunjungan dari AP3I (Asosiasi Perusahaan Pratekan dan Prategang Indonesia)



Inspeksi Pengecekan dari Kementerian Pertahanan



Daftar Pustaka

- Anwar, M., Kurniyaningrum, E., Pontan, D., Innavona. (2024). Evaluation of Cost and Time Performance Control Using The Concept Method of Earned Value in The Purwodadi Market Development Project, Argamakmur District, North Bengkulu Regency.
- Aven, T. (2016). Risk Assessment and Risk Management: Review of Recent Advances on Their Foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13. Doi:10.1016/j.ejor.2015.12.023
- Bromiley, P., McShane, M., Nair, A., & Rustambekov, E. (2015). Enterprise risk management: Review, critique, and research directions. *Long Range Planning*, 48(4), 265–276. Doi:10.1016/j.lrp.2014.07.005
- COSO (2017). Enterprise Risk Management – Integrating with Strategy and Performance. The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission.
- Delaney, T. F., & Kooy, H. M. (Eds.). (2007). *Proton and Charged Particle Radiotherapy*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Dorfman, M. S. (2007). *Introduction to Risk Management and Insurance* (9th ed.). Pearson.
- Fakrianto, I., Herlina, L. (2023). Karakteristik Kekuatan dan Workability pada Beton SCC (Self Compacting Concrete). *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan* 1(2), 219-223.

- Fokas, E., Kraft, G., An, H., & Engenhardt-Cabillic, R. (2010). Ion beam radiobiology and cancer: Time to update ourselves. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Reviews on Cancer*, 1806(1), 33–43.
- Hillson, D., & Murray-Webster, R. (2007). Understanding and managing risk attitude. *International Journal of Project Management*, 25(4), 279–285. Doi:10.1016/j.ijproman.2006.10.005
- Hopkin, P. (2018). *Fundamentals of Risk Management: Understanding, Evaluating and Implementing Effective Risk Management* (5th ed.). Kogan Page.
- ISO (2018). ISO 31000: Risk Management – Principles and Guidelines. International Organization for Standardization.
- Jorion, P. (2007). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Kaplan, R. S., & Mikes, A. (2012). Managing risks: A new framework. *Harvard Business Review*, 90(6), 48–60.
- Kaplan, M. F. (1989). *Concrete Radiation Shielding: Nuclear Reactors and Other Facilities*. John Wiley & Sons.
- Lam, J. (2014). *Enterprise Risk Management: From Incentives to Controls* (2nd ed.). Wiley.
- Lye, C. Q., Dhir, R. K., & Ghataora, G. S. (2015). High-Density Concrete: Effects Of Aggregate Type On Gamma Radiation Shielding Performance. *Construction and Building Materials*, 96, 256–269. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.0620.1148/47.5.487

- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Naik, T. R., & Moriconi, G. (2005). Environmental-Friendly Durable Concrete Made With Recycled Materials For Sustainable Concrete Construction. *Cement and Concrete Research*, 35(3), 567–576. doi: 10.1016/j.cemconres.2004.07.002
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Pearson Education Limited.
- Paganetti, H. (2012). Range Uncertainties in Proton Therapy And The Role of Monte Carlo simulations. *Physics in Medicine & Biology*, 57(11), R99–R117. doi:10.1088/0031-9155/57/11/R99
- Smith, A. R. (2009). Proton therapy. *Physics in Medicine & Biology*, 53(3), R491–R504. doi:10.1088/0031-9155/53/3/R01
- SNI 03-6861.1-2002 (2002). Spesifikasi Bahan Bangunan - Bagian A: Bahan Bangunan Bukan Logam. Badan Standar Nasional Indonesia.
- SNI 2847:2019 (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Badan Standar Nasional Indonesia.
- SNI 2847-2013 (2013). Spesifikasi Beton untuk Konstruksi. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Sujarwadi, J., Anwar, S., Zaki, M., Kurniyaningrum, E. (2024). Analisis Faktor Risiko Proyek Konstruksi Jembatan Hidrolik Karangsong-Karangjruju Indramayu. *Jurnal Syntax Idea*, Vol. 6 (8). Pp. 3655-3668.

Wilson, R. R. (1946). Radiological use of fast protons. *Radiology*, 47(5), 487–491. doi:1

Vaughan, E. J., & Vaughan, T. M. (2013). *Fundamentals of Risk and Insurance* (11th ed.). Wiley.

Profil Penulis



Rani Kardiani

Penulis merupakan alumnus Magister Manajemen di Universitas Prasetya Mulya dan Magister Teknik Sipil di Universitas Trisakti. Penulis mulai bergabung dengan PT. Nindya Karya sejak tahun 2015 dan terlibat dalam berbagai proyek pembangunan gedung. Sejak tahun 2016 dipercaya sebagai *Project Manager* pada beberapa proyek pembangunan gedung.

Penulis terlibat dalam proyek pembangunan Gedung *Proton Beam* RSPAD Gatoto Subroto pada tahun 2022 sebagai *Tim Leader Tender Project* dan kemudian menjadi *Project Manager*. Saat ini penulis menempati posisi sebagai *Project Manager* Proyek Konstruksi *Proton Beam* RSPAD Gatot Soebroto dan Proyek Pembangunan BTN KC Kelapa Gading di PT. Nindya Karya.

Penulis juga mendapatkan beberapa penghargaan seperti Karyawan Berprestasi PT. Nindya Karya pada tahun 2020 dan proyek dengan profit terbesar untuk proyek Renovasi Taman Mini Indonesia Indah pada tahun 2023. Penulis juga aktif sebagai pembicara dalam Nindya Learning Centre dan juga seminar/*workshop* yang diadakan oleh asosiasi.



Dadang Eko Wibowo

Penulis merupakan lulusan Sarjana Teknik Sipil di Universitas Mercu Buana. Penulis mulai bergabung dengan PT. Nindya Karya sejak tahun 2015 dan terlibat dalam berbagai proyek pembangunan khususnya di divisi gedung. Memiliki pengalaman dalam berbagai posisi/jabatan sejak bergabung dengan PT. Nindya Karya dan saat ini menempati posisi sebagai *Site Engineer Manager (SEM)*.

Penulis terlibat dalam proyek pembangunan Gedung *Proton Beam* RSPAD Gatoto Subroto sejak tahun 2022 sebagai SEM. Peran sebagai SEM menginisiasi penulis untuk mencari tantangan dalam mengembangkan material *High Density Concrete* yang baru pertama kali diterapkan di Indonesia. Bersama Project Manager dan tim, bekerja untuk menyukseskan pelaksanaan HDC di proyek.



Liana Herlina

Penulis merupakan lulusan Magister Teknik Sipil, Universitas Trisakti. Memulai karier sebagai dosen pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Trisakti. Penulis seorang akademisi di bidang material konstruksi. Beberapa karya ilmiah penulis terkait tentang perkembangan material konstruksi yang ramah lingkungan. Penulis merupakan Ketua Laboratorium Struktur dan Teknologi Bahan di Jurusan Teknik Sipil, Universitas Trisakti.

Penulis aktif menjadi pengajar dan pembimbing dalam penelitian mahasiswa sarjana di Universitas Trisakti.



Endah Kurniyaningrum

Penulis merupakan lulusan Doktor Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Memulai karier sebagai dosen pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Trisakti. Penulis seorang akademisi di bidang *climate change*. Beberapa karya ilmiah penulis terkait tentang *climate change*. Penulis aktif menjadi pengajar, pembimbing, penelitian pada prodi sarjana dan magister di Universitas Trisakti.

Penulis juga aktif menjadi konsultan perencanaan dan terlibat dalam berbagai proyek penulisan dan pembuatan buku dalam lingkup akademisi.



Tim Proyek Gedung *Proton Beam*

REVOLUSI KONSTRUKSI GEDUNG PROTON BEAM:

INOVASI *HIGH DENSITY CONCRETE* (HDC)
UNTUK PERLINDUNGAN RADIASI

Buku ini memuat inovasi dalam pembangunan fasilitas medis berteknologi tinggi, khususnya gedung terapi *Proton Beam*. Dengan meningkatnya kebutuhan akan pengobatan kanker yang lebih presisi dan aman, proyek ini menghadirkan solusi konstruksi berbasis *High Density Concrete* (HDC) sebagai material utama yang mampu menyerap dan mereduksi radiasi proton serta ketahanan struktural. Buku ini mengulas secara mendalam bagaimana HDC, dengan densitas tinggi dan kemampuan menyerap radiasi, menjadi elemen kunci dalam memastikan keselamatan pasien, tenaga medis, dan lingkungan sekitar. Selain aspek teknis dan inovasi konstruksi, buku ini juga menyoroti dampak signifikan dalam buku ini terhadap perkembangan layanan kesehatan di Indonesia, serta potensi adopsi teknologi serupa di masa depan untuk meningkatkan infrastruktur medis nasional.

Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📘 Penerbit Deepublish

📧 @penerbitbuku_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Teknik Sipil

ISBN 978-634-01-0305-2



9

786340

103052