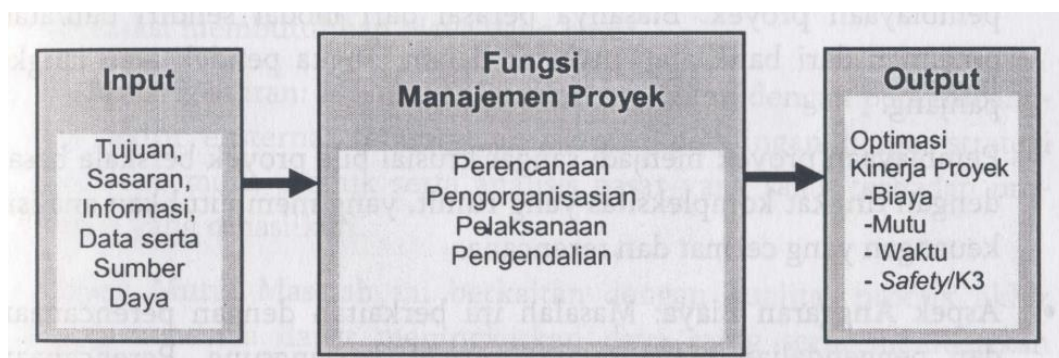


BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Manajemen Proyek

Manajemen secara umum dapat diartikan sebagai proses dalam merencanakan, memimpin, mengorganisir serta mengendalikan sumber daya untuk mencapai sasaran yang telah ditentukan (Soeharto, 1999). Sedangkan proyek menurut Albert Lester (2017) adalah kegiatan yang terkoordinasi dan terkontrol yang memiliki waktu mulai dan selesai, untuk mencapai tujuan dengan spesifikasi tertentu dengan kendala waktu, biaya dan sumber daya. Sehingga manajemen proyek dapat diartikan sebagai merencanakan, mengawasi dan mengontrol sebuah proyek dan segala aspek yang terlibat di dalamnya dengan maksud mencapai waktu, biaya dan mutu yang telah disepakati sebagai tujuan proyek (Lester, 2017).

Manajemen proyek merupakan implementasi dari ilmu pengetahuan, keahlian dan keterampilan, metode teknis yang terbaik dengan sumber daya yang terbatas untuk mencapai sasaran dan hasil yang telah ditentukan sehingga mendapatkan hasil yang optimal dalam kinerja biaya, mutu dan waktu serta keselamatan kerja (Husen, 2011). Proses manajemen proyek dapat digambarkan sebagai berikut:



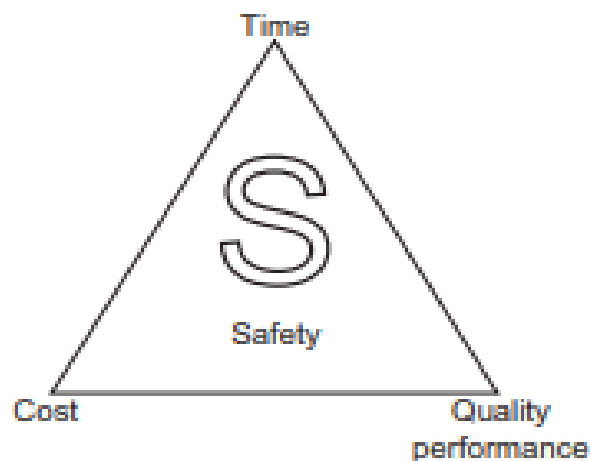
Gambar 2.1 Proses Manajemen Proyek

Sumber: Husen, 2011

Lester (2017) menjelaskan bahwa proyek haruslah memenuhi 3 (tiga) kriteria fundamental, yaitu:

1. Proyek harus selesai tepat waktu.
2. Proyek harus selesai dengan *budget* tertentu.
3. Proyek harus memenuhi persyaratan kualitas yang ditentukan.

Ketiga kriteria ini dapat divisualisasikan sebagai sebuah segitiga yang dikenal sebagai *triple constraints* yang digambarkan dalam *project triangle* yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 *Project Triangle*

Sumber: Lester, 2017

Soeharto (1999) menjelaskan bahwa sebuah proyek harus diselesaikan dengan biaya yang tidak melebihi anggaran yang telah ditentukan, diselesaikan dalam kurun waktu dan tanggal akhir yang telah ditentukan serta memiliki hasil memenuhi spesifikasi dan kriteria yang telah ditentukan. Kinerja proyek dapat dilihat dari indikator kinerja proyek tersebut terhadap biaya, mutu dan waktu.

2.2 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan atau *scheduling* menurut Husen (2011) adalah kegiatan pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan pekerjaan dalam rangka menyelesaikan sebuah proyek yang bertujuan untuk mencapai hasil yang optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan yang ada.

Adapun manfaat dari penjadwalan proyek diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pedoman bagi tiap unit kegiatan mengenai batasan waktu untuk memulai dan menyelesaikan masing-masing tugas.
2. Sebagai sarana bagi manajemen untuk koordinasi secara sistematis dalam menentukan alokasi prioritas terhadap sumber daya dan waktu
3. Sebagai sarana untuk menilai kemajuan pekerjaan
4. Menghindari penggunaan sumber daya yang berlebihan
5. Memberi kepastian waktu pelaksanaan pekerjaan
6. Sebagai sarana dalam pengendalian proyek.

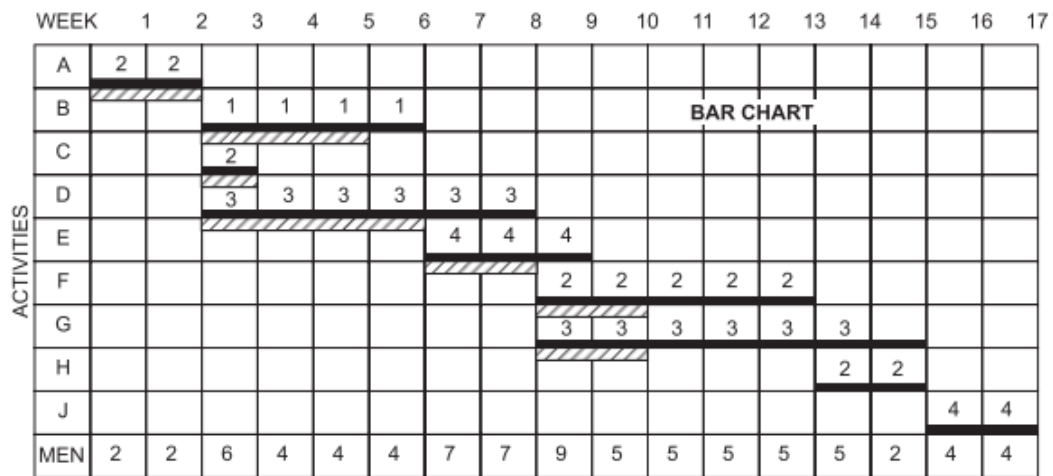
Tingkat kompleksitas penjadwalan sebuah proyek berbanding lurus dengan skala proyek karena dana dan sumber daya yang perlu dikelola dapat menjadi sangat besar pada proyek tertentu, selain itu kegiatan yang dilakukan juga semakin beragam dengan durasi proyek yang panjang. Maka dari itu ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam penyusunan penjadwalan proyek seperti metode bagan balok (*bar chart*) dan analisis jaringan kerja (*network analysis*) (Soeharto, 1999).

2.2.1 Bagan Balok/*Bar Chart*

Metode penjadwalan dengan metode *bar chart* merupakan sebuah metode yang dikembangkan pada abad 20 dan biasa dikenal juga dengan nama *Gantt Chart* .(Lester, 2017). Penyajian dari metode ini dibuat dalam bentuk balok dimana panjang balok merupakan representasi dari durasi sebuah item pekerjaan. Kelebihan dari bagan balok adalah formatnya yang informatif, mudah dibaca serta efektif untuk komunikasi (Husen, 2011).

Bagan balok terdiri dari sumbu y yang merupakan representasi dari kegiatan dan sumbu x yang menyatakan satuan waktu dalam satuan hari, minggu atau satuan durasi lainnya yang telah ditentukan. Sebuah kegiatan atau item pekerjaan pada bagan balok digambarkan dengan bentuk balok lurus horizontal. Panjang balok pada tiap kegiatan proporsional dengan durasi, waktu mulai serta waktu selesai kegiatan tersebut. Dengan adanya visualisasi secara grafis untuk tiap pekerjaan, maka dapat dilihat pula secara garis besar pekerjaan apa saja yang perlu dilakukan

dalam sebuah proyek (Lester, 2017). Contoh bagan balok dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Contoh *Bar Chart*

Sumber: Lester, 2017

Husen (2011) menjelaskan, bahwa penyajian informasi dengan *bar chart* dapat dikatakan terbatas mengingat tidak adanya informasi mengenai hubungan antar kegiatan serta tidak adanya lintasan kritis. Dalam penyajiannya, bagan balok seringkali dikombinasikan dengan Kurva-S.

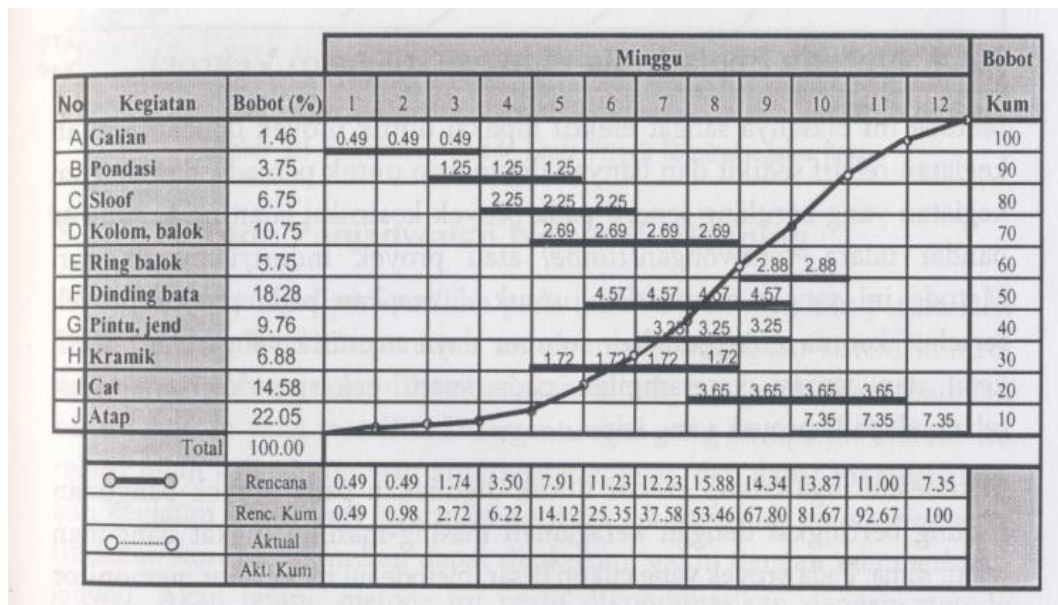
2.2.2 Kurva-S

Kurva-S merupakan sebuah grafik yang menggambarkan kemajuan proyek mulai dari awal hingga akhir berdasarkan kegiatan, waktu serta bobot yang direpresentasikan sebagai persentase kumulatif dari kegiatan proyek secara keseluruhan (Husen, 2011). Visualisasi yang ada pada kurva-s menggambarkan informasi mengenai realisasi kemajuan proyek dan perbandingannya terhadap kemajuan rencana, dimana dapat dijadikan sumber informasi mengenai apakah sebuah proyek terlambat atau lebih cepat dari jadwal rencananya.

Kurva-S dibuat dengan membuat presentase kumulatif bobot pada masing-masing item pekerjaan pada sumbu vertikal dan waktu atau durasi kegiatan tersebut pada sumbu horizontal, sehingga saat diplot grafik akan membentk kurva berbentuk huruf S. Bentuk ini terjadi karena volume pekerjaan yang perlu dikerjakan pada awal proyek biasanya sedikit sehingga kurva naik dengan landai, lalu saat

pertengahan proyek volume pekerjaan akan meningkat dan kembali menjadi sedikit saat akhir masa pengerjaan proyek sehingga kurvanya kembali melandai (Husen, 2011).

Untuk menentukan persentase bobot sebuah item pekerjaan, dapat dilakukan dengan menghitung persentase biaya item tersebut lalu membandingkannya dengan persentase total proyek. Contoh kurva-S yang dikombinasikan dengan *ganttt chart* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Contoh Kurva-S

Sumber: Husen, 2011

2.3 Estimasi Biaya Proyek

The Association for Total Cost Management dalam Westney (1997) mendefinisikan estimasi sebagai kegiatan mengevaluasi segala kebutuhan biaya pada setiap elemen dalam sebuah proyek. Estimasi adalah kegiatan penaksiran yang didasarkan oleh fakta dan asumsi dari sebuah proyek. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari sebuah proses estimasi biaya diantaranya adalah waktu yang dialokasikan untuk persiapan estimasi, prespektif dari penyusun estimasi (kontraktor, perencana atau *owner*), kemampuan dari estimator, teknik estimasi yang digunakan serta akurasi biaya yang diinginkan (Westney, 1997).

Estimasi biaya proyek merupakan salah satu tahap yang penting dalam manajemen proyek dikarenakan akan menjadi acuan pada tahapan *cost control* proyek. Jika estimasi biaya terlalu rendah, kontraktor dapat mengalami kerugian pada saat pelaksanaan pekerjaan, jika estimasi biaya terlalu tinggi, kontraktor juga dapat kehilangan kontrak karna dianggap *overprice* (Lester, 2017). Pada tahap estimasi biaya proyek, *Quantity surveyor* akan melakukan perhitungan biaya terhadap sebuah bangunan atau struktur dengan mengukur gambar perencanaan serta melakukan perhitungan biaya pada tiap satuan elemen seperti kolom, balok, tembok dan sebagainya yang dikenal dengan *bill of quantity*. *BoQ* yang diproduksi oleh kontraktor pada tahap awal perencanaan biasanya belum termasuk biaya pekerja, biaya *overhead* dan profit (Lester, 2017).

Tujuan dari estimasi biaya proyek adalah sebagai berikut (Westney, 1997):

1. Menyediakan taksiran biaya modal pada pekerjaan tertentu.
2. Menjadi dasar dalam merencanakan dan mengontrol pada sebuah lingkup pekerjaan dan estimasi biaya pekerjaan tersebut.
3. Menyediakan informasi dasar yang dibutuhkan untuk perencanaan jadwal, pekerja, kebutuhan material serta alat.
4. Menyediakan kebutuhan finansial yang dibutuhkan untuk pembuatan kurva *cash flow*.
5. Menjadi “katalisator” dalam diskusi dan pengonsepan ide pada tahap perencanaan awal proyek.

2.3.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya pada sebuah proyek merupakan proses perhitungan banyaknya biaya yang dibutuhkan untuk biaya bahan, upah serta biaya-biaya tidak langsung yang berkaitan dengan pelaksanaan proyek yang dihitung secara teliti, cermat dan sesuai dengan persyaratan (Ibrahim, 1993 dalam Hudaini, 2021). Perhitungan RAB secara garis besar dilakukan dengan mengalikan volume dengan harga satuan pekerjaan. Harga satuan pekerjaan merupakan hasil dari analisis yang disebut Analisis Harga Satuan Pekerjaan atau disingkat AHSP.

Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) menurut Permen PUPR No. 1 Tahun 2022 adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan serta peralatan dengan tujuan untuk mendapat harga satuan untuk suatu jenis pekerjaan tertentu. Harga satuan pekerjaan yang didapat dari hasil perhitungan AHSP terdiri dari biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung merupakan biaya yang terdiri dari tenaga kerja, bahan dan peralatan sedangkan biaya tidak langsung terdiri dari biaya umum dan biaya keuntungan yang terdiri dari 10% hingga 15% dari biaya langsung.

2.4 Struktur Bangunan

Struktur bangunan merupakan gabungan dari beberapa bagian yang ada dalam sebuah bangunan mulai dari pondasi, sloof, kolom, balok, kuda-kuda serta atap (Fuady, 2015 dalam Hudaini, 2021). Struktur bangunan berguna untuk mendukung elemen-elemen bangunan lainnya seperti elemen arsitektural serta elemen *Mechanical, Electrical, Plumbing* (MEP) sehingga menjadi suatu kesatuan. Pada dasarnya, elemen struktur haruslah dirancang untuk memenuhi beberapa kriteria diantaranya adalah kuat, layak, dan ekonomis. Kuat dapat diartikan sebagai kemampuan elemen struktur bangunan dalam menahan beban-beban yang timbul selama masa layan sebuah bangunan. Layak dapat diartikan suatu elemen struktur harus memiliki lendutan atau simpangan yang masih dalam batas wajar agar penghuni struktur tidak merasa terancam bahaya. Sedangkan ekonomis berarti suatu elemen struktur harus dirancang dengan mempertimbangkan aspek ekonomis dalam perencanaannya tanpa menyampingkan aspek kekuatan dan kelayakan dari struktur itu sendiri.

2.4.1 Jenis-jenis Struktur Bangunan

Sebuah struktur bangunan dikategorikan menjadi beberapa macam berdasarkan jenisnya. Jenis-jenis struktur yang biasa digunakan dalam sebuah bangunan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Struktur Beton Bertulang

Struktur beton bertulang merupakan struktur bangunan yang digunakan mulai dari bangunan dengan tingkat struktur menengah hingga

tinggi. Struktur ini banyak digunakan karena mudah dalam pelaksanaannya dan menjadi struktur bangunan paling umum digunakan.

2. Struktur Baja

Struktur baja biasa digunakan pada bangunan bertingkat karena memiliki kekuatan dan daktilitas tinggi bila dibandingkan dengan material struktur lainnya.

3. Struktur Komposit

Struktur komposit merupakan perpaduan dari jenis struktur yaitu struktur beton bertulang serta struktur baja. Struktur komposit ini biasa digunakan pada struktur bangunan menengah sampai tinggi.

2.4.2 Komponen Struktur Bangunan

Dalam sebuah bangunan, komponen struktur bangunan terdiri dari beberapa elemen yang tiap elemen memiliki fungsinya masing masing. Adapun komponen struktur dalam sebuah bangunan adalah sebagai berikut:

1. Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari sebuah struktur bangunan yang termasuk pada struktur bawah dan berhubungan langsung dengan tanah. Fungsinya adalah sebagai penahan bangunan di atasnya serta menyalurkan beban bangunan ke tanah.

2. Kolom

Kolom merupakan struktur bangunan yang berperan penting dalam menahan beban sebuah struktur karna apabila kolom tidak dapat menahan beban bangunan, maka bisa saja bangunan tersebut runtuh.

3. Balok

Balok merupakan struktur bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban pada plat lantai menuju kolom.

4. Plat Lantai

Plat lantai merupakan bagian dari struktur bangunan yang berguna untuk menahan beban langsung dari beban yang ada di atasnya yang ditahan oleh balok untuk selanjutnya disalurkan ke kolom.

5. Tangga

Tangga merupakan penghubung antar lantai. Tangga sendiri terdiri dari beberapa bagian seperti plat, bordes serta anak tangga.

6. Atap

Atap merupakan struktur bangunan yang berguna melindungi penghuninya. Pada atap terdapat rangka atap yang berfungsi untuk menopang atap tersebut. Rangka atap dapat biasanya menggunakan material balok kayu, beton atau baja.

2.5 Building Information Modeling (BIM)

Eastman et al. (2011) dalam *The Glossary of the BIM Handbook* mengartikan BIM sebagai kata kerja yang menggambarkan alat, proses, dan teknologi yang difasilitasi oleh dokumentasi digital mengenai sebuah bangunan, performa, perencanaan, konstruksi, dan operasionalnya. Karakteristik *software* BIM dapat dilihat dari kemampuannya untuk menyatukan model virtual dari sebuah bangunan menggunakan objek-objek parametrik yang dapat dipahami oleh mesin dengan kemampuan menunjukkan fungsi dan kebiasaan yang digunakan untuk mendesain, menganalisis, dan melakukan test pada sebuah desain bangunan (Sacks et al., 2004). Tolman (1999) memberikan contoh seperti 3D CAD (*Computer Aided Drawing*) *model* tidak dapat disebut sebagai objek yang menunjukkan bentuk, fungsi, dan kebiasaan maka dari itu tidak dapat disebut sebagai *building information model*.

Building Information Modeling (BIM) dapat diartikan sebagai pendekatan dalam melakukan desain bangunan, pelaksanaan konstruksi, serta manajemen didalamnya. Ruang lingkup *Building Information Modeling* (BIM) mendukung segala aspek dalam proyek mulai dari desain, jadwal, serta informasi lainnya secara terkoordinasi. BIM pada dasarnya terdiri dari 2 (dua) gagasan penting, diantaranya:

1. Merangkum informasi desain dalam sebuah bentuk digital, sehingga lebih mudah untuk diperbaharui dan mempermudah koordinasi antar *stakeholder*.
2. Membuat model yang berhubungan secara *real-time* antara data desain digital dengan inovasi teknologi permodelan bangunan, sehingga dapat menghemat waktu, menekan biaya, serta meningkatkan produktivitas dan kualitas proyek.

Ruang lingkup BIM sangatlah luas mulai dari desain awal proyek seperti model arsitektur, struktur, dan MEP, jadwal serta informasi lainnya mengenai sebuah bangunan dapat dikoordinasikan dengan baik (Rayendra & Soemardi, 2014). Eastman et al. (2011) Dalam *BIM Handbook* dijelaskan bahwa untuk mempermudah membedakan *software* yang dapat dikatakan berbasis BIM dengan yang bukan berbasis BIM dapat dilihat dari beberapa hal berikut:

1. Model hanya berisi informasi 3D tanpa adanya atribut pada objek tersebut, artinya model tersebut hanya berupa visualisasi dalam bentuk 3D, namun tidak dapat digunakan untuk analisis dikarenakan tidak adanya informasi mengenai geometri tersebut.
2. Model tidak memiliki pemahaman terhadap kebiasaan, dimana dalam melakukan pekerjaan seperti pemindahan posisi atau perubahan bentuk harus dilakukan secara manual karena *software* yang digunakan tidak memahami *behaviour* dari objek yang diubah sehingga sangat rentan berujung pada hasil yang tidak konsisten dan tidak akurat.
3. Model terdiri dari beberapa gambar 2D CAD yang harus digabungkan.
4. Model memungkinkan perubahan dimensi pada satu gambar namun tidak dengan otomatis terintegrasi ke gambar lainnya.

Software yang memiliki ciri-ciri di atas diantaranya adalah AutoCAD dan Sketchup. Sedangkan *software* yang dapat dikategorisasikan sebagai *software* BIM diantaranya adalah Autodesk Revit, Bentley System, ArchiCAD serta Tekla.

2.5.1 Manfaat Building Information Modeling (BIM)

Sacks et al. (2010) dalam *Journal of Construction Engineering and Management* menyebutkan bahwa ada beberapa kegunaan dari penerapan BIM pada sebuah proyek, diantaranya:

1. Visualisasi bentuk (untuk evaluasi fungsi dan estetika).

Software BIM memiliki kemampuan untuk melakukan *render* dengan berbagai tingkat realisme, sehingga dapat membuat tampilan bangunan menjadi lebih mudah diterima oleh *stakeholder* non-teknik ketimbang gambar teknik.

2. Membuat berbagai alternatif desain dengan cepat.

Desainer dapat memanipulasi dan mengubah desain secara efisien dengan memanfaatkan kemampuan BIM dalam memahami hubungan dan kebiasaan antar komponen pada model. Dimana hal ini tidak dapat dilakukan dalam sistem *CAD*.

3. Menggunakan data pada model untuk memprediksikan performa bangunan.

Data yang ada pada model dapat digunakan untuk melakukan analisis struktur yang dapat dilakukan pada beberapa *software* BIM, estimasi biaya konstruksi dan siklus hidup, serta memastikan model telah dievaluasi sesuai dengan aturan yang berlaku.

4. Kemudahan mengatur dan melakukan integritas informasi dan model desain.

Perangkat lunak BIM mampu menyimpan informasi dari tiap komponen bangunan tanpa adanya pengulangan dari informasi yang sama pada tampilan yang berbeda sehingga informasi tersebut dapat diintegrasikan dengan komponen lainnya.

5. Otomatisasi pembuatan gambar dan dokumen.

Software BIM yang berbeda juga memberikan berbagai tingkatan otomatisasi yang berbeda dalam pembuatan gambar dan dokumen sebuah proyek. Namun secara general mayoritas *software* BIM dapat membuat gambar kerja dengan otomatis dan dilengkapi dengan anotasi yang dibutuhkan.

6. Kolaborasi desain dan konstruksi.

Kolaborasi dalam desain dan konstruksi pada BIM dapat dilakukan secara internal dimana sebuah tim bekerja pada satu model atau disiplin ilmu yang sama dan eksternal dimana beberapa tim melakukan *modeling* pada model dari disiplin ilmu yang berbeda untuk dilakukan penggabungan secara simultan.

7. Membuat alternatif dan evaluasi rencana pelaksanaan dengan cepat.

Beberapa *software* BIM yang dapat mendukung hingga visualisasi jadwal proyek dapat memberikan informasi mengenai pelaksanaan item pekerjaan, keterkaitan antar item pekerjaan, persyaratan dari item pekerjaan tersebut, serta *resource* yang dibutuhkan. Sehingga jika ada perubahan serta evaluasi dari pelaksanaan dapat dilakukan dengan cepat.

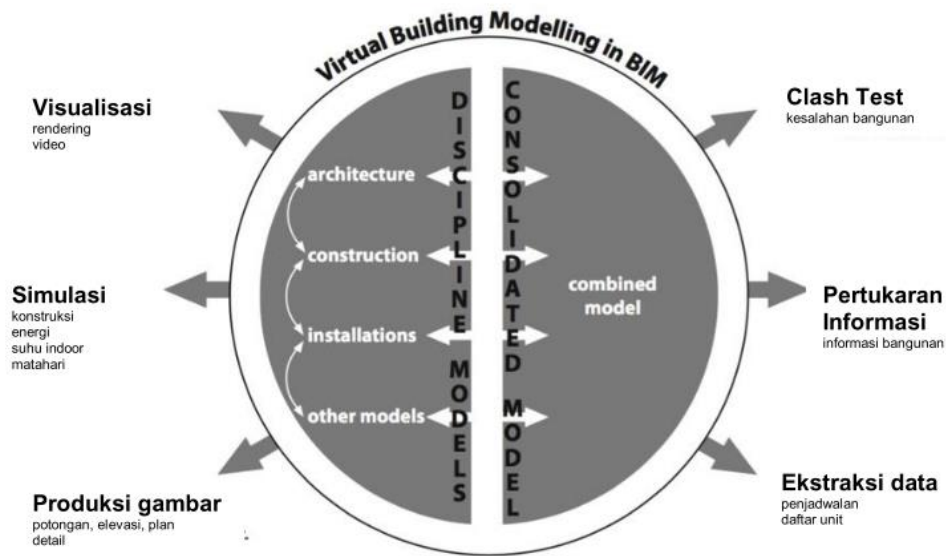
8. Komunikasi dengan berbasis *online/electronic object*.

Kerjasama antar BIM memungkinkan untuk melakukan komunikasi mengenai informasi yang terdapat pada model dengan menggunakan *server*.

Rayendra & Soemardi (2014) menjelaskan keuntungan dari penggunaan BIM adalah sebagai berikut:

1. Meminimalisir desain *lifecycle* dengan meningkatkan kolaborasi antara owner, konsultan serta kontraktor.
2. Kualitas dan akurasi dokumen yang jelas dari proses konstruksi.
3. Teknologi BIM dapat digunakan untuk seluruh siklus hidup bangunan.
4. Menghasilkan produk yang lebih berkualitas serta meminimalisir timbulnya masalah.
5. Pemotongan biaya dan meminimalisir *waste* proyek.
6. Meningkatkan manajemen konstruksi

Sedangkan Kementrian PUPR (2018) dalam Modul Pelatihan Perencanaan Konstruksi dengan Sistem Teknologi *Building Information Modeling* (BIM) menggambarkan manfaat dari pemodelan virtual dengan konsep BIM yang terintegrasi antar disiplin sebagai berikut:



Gambar 2.5 Manfaat Pemodelan BIM Terintegrasi

Sumber: PUPR, 2018

2.5.2 Dimensi dan Tingkat Implementasi *Building Information Modeling* (BIM Maturity Level)

Inti dari penggunaan BIM adalah model yang dibuat bukan hanya berupa model geometris, namun juga mengandung informasi tentang bahan material, berat, biaya, waktu instalasi, dan sebagainya. Dimensi yang merepresentasikan tingkat implementasi BIM pada sebuah proyek dijelaskan (Eastman et al., 2011) dalam *BIM Handbook* terbagi menjadi 5 (lima) dimensi dengan penjelasan sebagai berikut:

1. 3D BIM/*Parametric Data for Collaborative Work*

BIM 3D menjadi sarana kolaborasi multidisipli antara pihak-pihak yang terkait pada proyek mulai dari memodelkan hingga menganalisis masalah spasial dan struktural. Manfaat utama dari 3D BIM adalah mudahnya visualisasi dan komunikasi desain dan meminimalisir kesalahan komunikasi antar disiplin pada tahap desain. Aspek yang ada pada BIM 3D diantaranya adalah:

a. 3D *Building data and information*

- b. *Existing model data*
- c. Data prefabrikasi BIM
- d. *Reinforcement and structure analysis*
- e. *Field layout and civil data*

2. 4D BIM /Scheduling

BIM 4D memungkinkan untuk memvisualisasikan progress yang berlangsung selama masa proyek sehingga penjadwalan proyek menjadi lebih optimal. Aspek yang termasuk pada BIM 4D diantaranya:

- a. *Project schedule and phasing*
- b. *Just in time schedule*
- c. *Installation schedule*
- d. *Payment visual approval*
- e. *Last planner schedule*
- f. *Critical point*

3. 5D BIM/Estimating

BIM 5D memungkinkan pelacakan anggaran dan kegiatan biaya terkait proyek. Adapun aspek yang termasuk dalam BIM 5D adalah:

- a. *Conceptual cost planning*
- b. *Quantity extraction to cost estimation*
- c. *Trade verification*
- d. *Value engineering*
- e. *Prefabracting*

4. 6D BIM/Sustainability

BIM 6D memungkinkan untuk merencanakan penggunaan energi selama masa siklus hidup bangunan serta penerapan konsep *green building*

pada proyek tersebut. Yang menjadi aspek pada BIM 6D diantaranya adalah:

- a. *Energy analysis*
- b. *Green building element*
- c. *Green building certification tracking*
- d. *Green building point tracking*

5. 7D BIM/*Building Management*

BIM 7D memungkinkan pihak manajemen bangunan untuk mengetahui data dari asset yang terdapat pada bangunan seperti status komponen, spesifikasi, manual pemeliharaan, serta garansi dan detail lainnya yang relevan dengan kondisi dan perawatan bangunan. Aspek yang ada pada BIM 7D adalah:

- a. *Building life cycle*
- b. *BIM as built data*
- c. *BIM cost operation and maintenance*
- d. *BIM digital lend lease planning*

Kementrian PUPR melalui Balai Pengembangan Sumber Daya Manusia PU mengklasifikasikan dimensi BIM sebagai berikut:

3D	<ol style="list-style-type: none"> 1. Model Kondisi eksisting: <ol style="list-style-type: none"> a. <i>Laser scanning</i> b. Ground penetration (Konversi Radar (GPR)) 2. Model Logistik dan <i>safety</i> 3. Animasi, <i>rendering</i>, <i>walktrough</i> 4. BIM Pre-Pabrikasi 5. Laser accurate BIM driven field layout
4D	<p>SCHEDULING</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Simulasi tahapan proyek 2. Mempelajari penjadwalan: <ol style="list-style-type: none"> a. Perencanaan akhir b. <i>Just in Time (JIT)</i> mengirim peralatan c. Instalasi simulasi detail 3. Validasi visual untuk persetujuan pembayaran
5D	<p>ESTIMATING</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan konsep real time dan perencanaan biaya 2. Ekstrak kuantitas untuk mensupport detail estimasi biaya 3. Trade verification dari model pabrikan: <ol style="list-style-type: none"> a. Struktur baja b. Pembesian c. Mekanikal dan plumbing d. Elektrikal 4. Value Engineering: <ol style="list-style-type: none"> a. Skenario b. Visualisasi c. Ekstak kuantitas 5. Solusi Pre-fabrication: <ol style="list-style-type: none"> a. Ruang peralatan b. MEP c. Multi-trade Prefabrication d. Arsitektural unik dan elemen-elemen struktur
6D	<p>SUSTAINABILITY</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analisis konsep energi (via Dprofiler) 2. Analisis detail energi (via Eco tech) 3. Sustainable element tracking 4. LEED tracking
7D	<p>APLIKASI FACILITY MANAGEMENT</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Strategi Life cycle BIM 2. BIM as-builts 3. BIM embedded O&P Manuals 4. COBe data population dan extraction 5. Perencanaan Pemeliharaan BIM dan Technical support 6. BIM file hosting on lend Lease's digital excharge system

Gambar 2.6 Dimensi BIM

Sumber: PUPR

Tingkat implementasi BIM pada sebuah proyek dibedakan menjadi beberapa level berdasarkan tingkan penerapannya pada proyek. Pembagian tingkatan implementasi pada BIM adalah sebagai berikut:

1. Level 0 BIM
 - a. Tidak ada kolaborasi antar disiplin
 - b. 2D CAD untuk penggambaran dan dokumentasi (*drafting*)
2. Level 1 BIM

- a. Pekerjaan desain konsen menggunakan 3D model, sedangkan gambar 2D CAD tetap digunakan untuk dokumentasi, perizinan, dan informasi proyek selama masa konstruksi
 - b. Terdapat standar CAD dan informasi dikolaborasikan dalam bentuk elektronik
 - c. Setiap disiplin memiliki standarnya sendiri
3. Level 2 BIM
- a. Pekerjaan dilakukan dengan berkolaborasi. Semua disiplin bekerja dengan system dan lingkungannya sendiri namun model dapat dikolaborasikan.
 - b. Dilakukan pertukaran informasi dengan format yang telah disetujui (IFC atau COBie).
4. Level 3 BIM
- a. Kolaborasi penuh antara semua disiplin dengan menggunakan satu objek dimana semua pelaku BIM bekerja dan memodifikasi objek yang sama.
 - b. Penerapan BIM ini disebut sebagai OpenBIM.

2.5.3 Clash Detection Berbasis BIM

Clash atau yang dapat diartikan sebagai bentrok dalam Bahasa Indonesia adalah kondisi dimana adanya elemen dari model yang berbeda yang mendiami ruang yang sama (PUPR, 2018). Sedangkan *clash detection* adalah tahapan mendeteksi adanya *clash* pada sebuah proyek.

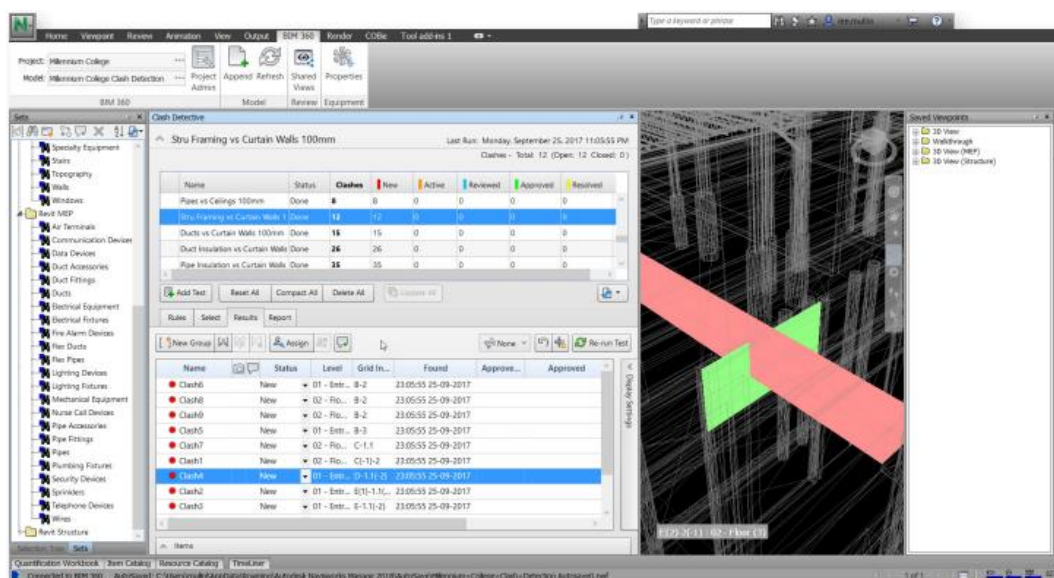
Salah satu proses yang cukup kritis khususnya bagi kontraktor dalam pelaksanaan proyek adalah mengenai koordinasi dan pertukaran informasi mengenai gambar proyek (Eastman et al., 2011). Pada proyek yang masih menggunakan gambar CAD 2D konvensional, *clash detection* biasanya dilakukan dengan melakukan *overlay* pada gambar-gambar yang terkait untuk memastikan bahwa tidak ada *clash* yang terjadi. Pelaksanaan *clash detection* konvensional dapat dikatakan efektif karena memakan waktu serta adanya kemungkinan untuk terjadi

human error. Mengingat adanya kekurangan pada metode konvensional didorong dengan berkembangnya perangkat lunak BIM maka digunakanlah fitur *clash detection* yang berbasis pada 3D model BIM.

Kelebihan dari *clash detection* berbasis BIM adalah prosesnya yang lebih cepat dan akurat (PUPR, 2018). *Clash detection* dengan BIM dapat menganalisis *clash* yang disebabkan oleh miskordinasi dari tiap disiplin dengan mengintegrasikan gambar dari tiap-tiap disiplin yang terlibat. Jika pada saat proses *review* terjadi *clash*, maka tim yang terkait dengan elemen dari model tersebut dapat langsung melakukan revisi dan perbaikan desain.

Ada beberapa jenis *clash* yang biasanya terjadi diantaranya adalah:

1. *Hard Clash* terjadi ketika dua buah objek menempati satu tempat yang sama sehingga bertabrakan satu sama lain. Contohnya adalah jika pipa bertabrakan dengan balok struktural.
2. *Soft Clash* atau *Clearance Clash* terjadi ketika dua buah objek terlalu dekat (dibawah toleransi yang diizinkan) satu sama lain.
3. *Workflow Clash* terjadi ketika adanya bentrok antar penjadwalan



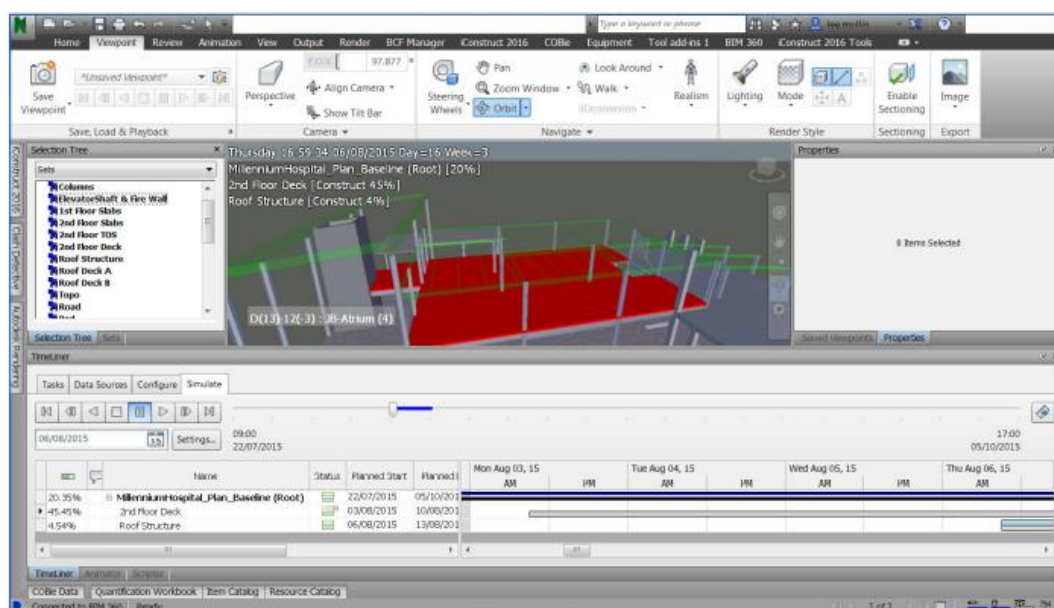
Gambar 2.7 *Clash Detection* pada Autodesk Navisworks

Sumber: Autodesk

Software BIM yang menyediakan fitur untuk melakukan *clash detection* terhadap model diantaranya adalah Autodesk Navisworks, Tekla BIMsight, Autodesk Revit, ArchiCAD dan lainnya. Output dari dilakukannya *clash detection* berbasis BIM adalah *clash report* yang dapat berformat PDF, XML atau format lainnya yang telah disepakati. *Report* ini juga berisi lokasi *clash*, penanggung jawab (tergantung dari disiplin apa model yang terlibat *clash*) serta tindakan yang diperlukan.

2.5.4 Penjadwalan Proyek Berbasis BIM

Penjadwalan proyek secara tradisional biasanya menggunakan bantuan perangkat lunak seperti Microsoft Project, Primavera SureTrak atau P6 untuk membuat, memperbaharui serta mengkomunikasikan jadwal proyek. Metode penjadwalan proyek dengan cara tradisional tidak secara langsung terkait dengan desain dari model bangunan atau dengan kata lain aktivitas penjadwalan dilakukan secara terpisah dari bangunan yang telah dimodelkan.



Gambar 2.8 Integrasi *Schedule* Proyek dengan Model 3D BIM pada Navisworks Manage

Sumber: Autodesk

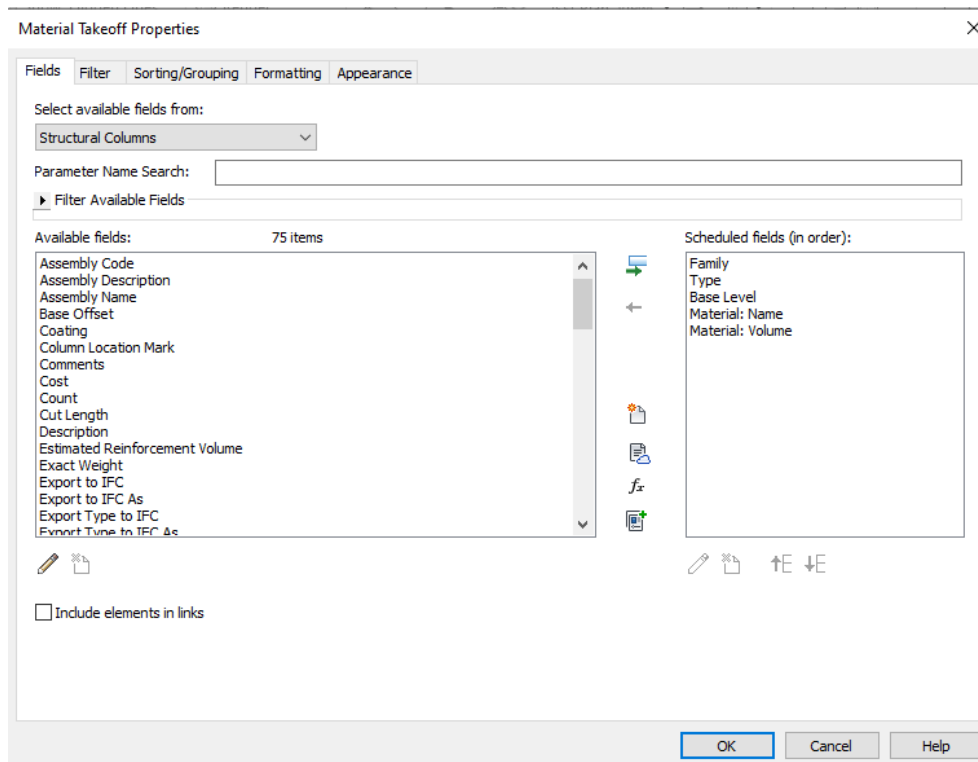
Penjadwalan proyek berbasis BIM 4D dilakukan dengan mengintegrasikan fase konstruksi proyek serta urutan pelaksanaannya ke dalam model 3D yang telah dibuat. Hasil dari integrasi jadwal proyek dengan model 3D memungkinkan

schedule yang telah terintegrasi dapat divisualisasikan dalam bentuk animasi sehingga mempermudah proses komunikasi antara *stakeholder* yang terlibat dalam sebuah proyek. Implementasi BIM 4D dalam penjadwalan proyek juga memungkinkan seorang *scheduler* untuk membuat, meninjau serta mengubah jadwal dengan lebih efisien sehingga didapat *schedule* proyek yang lebih relevan dan terpercaya (Eastman et al., 2011).

2.5.5 Quantity Takeoff Material Berbasis BIM

Quantity takeoff adalah salah satu pekerjaan dasar yang dibutuhkan dalam manajemen konstruksi karna berkaitan langsung dengan perkiraan biaya dimana ketidakakuratannya dapat berdampak pada biaya proyek yang membengkak bahkan penundaan proyek (Lee et al., 2016). Proses *quantity takeoff* dengan cara tradisional dilakukan dengan menghitung manual semua jumlah elemen dari gambar 2D dan 3D yang tersedia dan diinput datanya ke *software spreadsheet* seperti Microsoft Excel sehingga sangat rawan sekali terjadi kesalahan. Sedangkan dengan menggunakan BIM, proses *quantity takeoff* dilakukan dengan otomatis dan menghasilkan jumlah volume dari material dengan akurat sesuai dengan yang terdapat pada model 3D bangunan.

Selain itu, *quantity takeoff* berbasis BIM merupakan salah satu fitur yang terdapat di hampir semua *software* BIM seperti pada Autodesk Revit. Untuk menghasilkan *quantity takeoff* yang akurat perlu dilakukan pemodelan yang cukup detail pula sehingga hasil *quantity takeoff* dapat memberikan informasi secara keseluruhan. Sebagai gambaran, pada Autodesk Revit jika kita memasukan data secara lengkap dan konsisten, maka hasil dari *quantity takeoff* dapat menunjukkan dengan detail mulai dari bagian struktur yang ditunjuk, jumlah volume beton yang dibutuhkan, berat tulangan yang dibutuhkan, bahkan biaya yang harus dikeluarkan.



Gambar 2.9 Proses *Quantity Take-off* Material Pada Autodesk Revit

Hafez et al. (2015) dalam penelitiannya berjudul *Construction Cost Prediction by Using Building Information Modeling* melakukan perbandingan hasil *quantity take-off* dari 3 (tiga) metode, yang pertama adalah perhitungan manual yang dilakukan dengan menghitung volume dari gambar 2D dibantu oleh Microsoft Excel, metode kedua adalah dengan melakukan perhitungan manual namun menggunakan desain 3D, dan metode yang terakhir adalah perhitungan dengan menggunakan bantuan *tools quantity takeoff* yang terdapat pada *software* BIM. Dari penelitian tersebut didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu Mengenai Perbandingan Metode *Cost Estimation*

Metode Estimasi	Metode 1	Metode 2	Metode 3
Waktu Perhitungan (menit)	125	97	85
Hasil Sesungguhnya	712606.5		
Hasil Perhitungan	766052	748236.8	744673.8
Deviasi (%)	7.5%	5%	4.5%

Dari hasil penelitian tersebut, didapat hasil bahwa metode yang menggunakan BIM dibantu dengan fitur *quantity takeoff* dan *calculation* mendapat hasil terbaik mulai dari waktu pelaksanaan perhitungannya serta deviasinya.