

LAPORAN PENELITIAN

PENERAPAN VALUE ENGINEERING

&

LEAN CONSTRUCTION BEKESTING PONDASI

HIGH RISE BUILDING



DISUSUN OLEH :

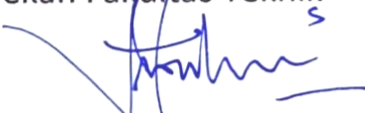
TONI YURI PRASTOWO

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BOROBUDUR
JAKARTA, 2023

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PENELITIAN**

1	Judul Penelitian	Penerapan Value Engineering & Lean Construction Bekesting Pondasi High Rise Building
2	Ketua Peneliti :	
	a. Nama	Toni Yuri Prastowo, ST., MT
	b. NIDN	0319078604
	c. Jenis Kelamin	Laki-Laki
	d. Pangkat/Golongan/NIP	
	e. Jabatan Fungsional	Asisten Ahli
	f. Fakultas/Program Studi	Teknik Sipil
	g. Bidang Ilmu yang diteliti	
3	Jumlah Tim Peneliti	1 (satu) Orang
4	Lokasi Penelitian	Jakarta
5	Jangka Waktu Penelitian	6 (enam) bulan
6	Biaya diperlukan	Rp. 22.000.000,-
7	Sumber Dana	Perguruan Tinggi

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik


(Ir. Wahyu Inggar Fipiana, MM.)
NIP : 0003066401

Jakarta, Juni 2023
Ketua Peneliti


(Toni Yuri Prastowo, S.T, M.T)



Mengetahui
Ketua Lembaga Penelitian

(Prof. Dr. Ir. Darwati Susilastuti, MM.)
NIP/NIK: 196102081984032001

BAB I

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN

1. Tinjauan Pustaka

1.1. Keberhasilan Proyek

Definisi kesuksesan proyek memiliki perbedaan antara para peneliti, ini disebabkan oleh pandangan keberhasilan bergantung pada prespektif yang dipilih (Adelback dan Johansson, 2013). Menurut Parson dalam Ritzer, G (2009:117) keberhasilan proyek adalah tercapainya tujuan proyek dari sudut pandang pemangku kepentingan terkait yang secara tradisional diukur dari indikator ketepatan biaya, waktu, mutu sesuai kesepakatan pihak terkait.

1.2. *Value Engineering*

1.2.1 Sejarah *Value Engineering*

Value Engineering (VE) lahir di Amerika Serikat (USA) pada perang dunia II. Sehingga bukan merupakan konsep yang baru, metode ini sudah lama dikembangkan dan diaplikasikan pada industri-industri maju dan proyek-proyek di dunia. Konsep dan pemikirannya lahir dari sebuah perusahaan *General Electric Company*, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang *manufacturing*. (Iman Soeharto, 2001). Dikembangkan oleh Lawrence D. Miles untuk memecahkan masalah kurangnya material dari produk yang akan mereka produksi selama perang dunia II. Pada awal VE bernama Analisis Nilai (*Value Analysis/VA*), fungsi ini mengkaji setiap komponen bagian dari perubahan/bagian dari produk eksisting, setelah mengalami perkembangan metode analisis ini mengalami perubahan konteks, yaitu dari pengkajian terhadap bagian produk eksisting ke peningkatan rancangan konsep, oleh karena itu dinamakan *Value Engineering* (VE) sebagai bentuk penyesuaian terhadap perubahan konteks tersebut (Priyanto, 2010).

Value Engineering mulai diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1986 melalui seminar-seminar di berbagai kota. Pada tahun itu juga metode ini berhasil digunakan pada Proyek Pembangunan Jalan Layang Cawang. Sehingga pada tahun

1987 Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), Departemen Keuangan, dan Direktorat Jenderal Cipta Karya menganjurkan pemakaian *Value Engineering* di Indonesia untuk seluruh pembangunan rumah dinas dan gedung Negara dengan nilai proyek di atas 1 milyar rupiah.

2.2.2. Pengertian Value Engineering

Arti kata „rekayasa“ pada Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah penerapan kaidah-kaidah ilmu dalam pelaksanaan (seperti perancangan, pembuatan konstruksi, serta pengoperasian, kerangka, peralatan, dan sistem yang ekonomis dan efisien). Rekayasa biaya konstruksi adalah kegiatan penerapan iptek terkait perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian biaya pekerjaan pada suatu proyek konstruksi.

Sedangkan VE menurut para ahli adalah sebagai berikut:

1. VE adalah usaha yang terorganisasi secara sistematis dan mengaplikasikan suatu teknik yang telah diakui, yaitu teknik mengidentifikasi fungsi produk atau jasa yang bertujuan memenuhi fungsi yang diperlukan dengan harga yang terendah (paling ekonomis). (*Imam Soeharto, 1995 yang dikutip dari Society Of American Value Engineers*).
2. VE adalah evaluasi sistematis atas desain engineering suatu proyek untuk mendapatkan nilai yang paling tinggi bagi setiap dolar yang dikeluarkan. Selanjutnya Rekayasa Nilai mengkaji dan memikirkan berbagai komponen kegiatan seperti pengadaan, pabrikasi, dan konstruksi serta kegiatan-kegiatan lain dalam kaitannya antara biaya terhadap fungsinya, dengan tujuan mendapatkan penurunan biaya proyek secara keseluruhan. (*E.R. Fisk 1982*)
3. VE adalah sebuah teknik dalam manajemen menggunakan pendekatan sistematis untuk mencari keseimbangan fungsi terbaik antara biaya, keandalan dan kinerja sebuah proyek. (*Dell'Isola*)

2.2.3. Konsep Value Engineering

Penerapan VE dilakukan dengan cara yang berbeda sesuai dengan yang dianggap cocok dengan kondisi masing-masing. Dalam sistem VE terdapat

beberapa alternatif dari setiap komponen yang ada, kemudian komponen-komponen tersebut digabungkan dan menjadi sebuah system VE. Komponen sistem VE dapat dilihat pada Tabel 2.1.

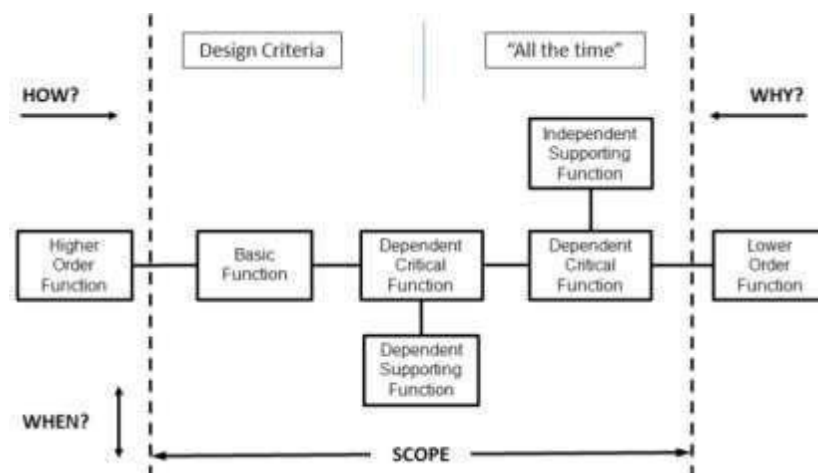
Tabel 2.1. Komponen Sistem VE (McGeorge dan Palmer, 1997)

<i>VE System</i>	<i>VE Componen</i>
<i>Function Definition</i>	<i>Based on Project Function</i>
	<i>Based on Space Function</i>
	<i>Based on Elemental Function</i>
<i>Function Evaluation</i>	<i>Lowest Cost to Perform Function</i>
<i>FAST Diagram</i>	<i>Use</i>
	<i>Don't Use</i>
<i>Allocated Cost to Function</i>	<i>Yes</i>
	<i>No</i>
<i>Callculated Worth</i>	<i>Yes</i>
	<i>No</i>
<i>Generation of Alternative</i>	<i>Brainstorming</i>
	<i>Other Creative Techniques</i>
<i>Organisation of The Study Group</i>	<i>External Team</i>
<i>Approach</i>	<i>Design Mix</i>
	<i>Mixture of Two</i>
<i>Value Engineering Facilitator</i>	<i>Independent</i>
	<i>In House</i>
<i>Format of The Value Engineering</i>	<i>40 Hours Workshop</i>
	<i>The Two Days</i>
	<i>Charette</i>
	<i>Japanese Compact Study</i>
	<i>Contractor Change Proposal</i>
	<i>Other as Aplicable to the Project</i>
<i>Location</i>	<i>Outsite Work Environment</i>
	<i>Inside Work Environment</i>
<i>The Timing of Study</i>	<i>Inception</i>
	<i>Brief</i>
	<i>Sketch Design</i>
	<i>Construction Stage</i>

	<i>Combination of Above</i>
	<i>Continuous Process</i>
<i>Evaluation of Alternative</i>	<i>Weightmatrix</i>
	<i>Other Mathematical Technique</i>
	<i>Voting</i>
	<i>Subjective Evaluation</i>

2.2.4. FAST Diagram

FAST diagram dilakukan untuk melihat identifikasi fungsi dasar dan fungsi pelengkap. Cara kerja diagram ini berawal dari penentuan fungsi utama dan bagaimana cara pencapaiannya (*how*), dan akan dijelaskan mengapa hal tersebut dilakukan (*why*). Diagram ini juga melakukan pembagian antara lingkup design dan lingkup konstruksi untuk tercapainya analisa yang dibuat. Pada *FAST diagram* dijelaskan konsep pemikiran pada fase desain and fase konstruksi. Pada fase desain menjelaskan bagaimana cara yang dilakukan untuk memecahkan masalah yang akan timbul. Sedangkan pada masa konstruksi dijelaskan bagaimana cara yang dilakukan untuk memecahkan masalah yang timbul.



Gambar 2.1 : FAST Diagram

Sumber : *Slideshare.net*

1.3. Lean Construction

2.3.1. Concept Of Lean in Construction

Fokus utama dari konsep *Lean* adalah untuk menghilangkan kegiatan yang tidak menambah nilai dalam semua proses sedangkan VE bertujuan untuk meningkatkan fungsionalitas proyek dengan biaya minimum. Meskipun *Lean* dan VE memiliki dua pendekatan berbeda, mereka memiliki satu fokus bersama, yaitu mencapai nilai untuk klien uang. Bagian berikut menyajikan fitur yang menonjol dari kedua konsep ini diikuti oleh perbandingan untuk memahami dan membangun sinergi di antara mereka. Menurut Mandujano *et al.* (2017), *Lean* adalah filosofi manajemen, yang berfokus pada mengidentifikasi limbah dan memanfaatkan alat dan prinsipnya untuk meminimalkan atau menghilangkan limbah.

Lean construction menerima kriteria sistem disain produksi Ohno sebagai standar kesempurnaan. Ciri penting dari konstruksi ramping (*lean construction*) meliputi tujuan yang jelas untuk sistem pengantaran (*delivery*), tujuan pada saat memaksimalkan kinerja untuk klien pada tingkat proyek, berbarengan dari desain dan proses produk, dan penerapan dari kontrol produksi dalam seluruh waktu mulai dari desain sampai pengantaran (Howell, 1999). Manfaat dari teknik *lean construction* telah ditunjukkan dengan pencapaian peningkatan dari banyak proyek dan setiap tahapan proyek. *Lean construction* memerlukan lebih banyak waktu dalam tahap desain dan perencanaan, tetapi perhatian ini menghilangkan atau memperkecil konflik yang dapat secara dramatis mengubah biaya dan jadwal (Forbes, *et.al.*, 2005). *Lean construction* adalah suatu filosofi yang berdasar pada konsep *lean manufacturing*. Hal ini adalah tentang bagaimana mengatur dan meningkatkan proses konstruksi untuk memperoleh keuntungan dan memenuhi kebutuhan customer (www.constructingexcellence.org.uk, 2004). Koskela *et.al* (Abdelhamid, 2005), *lean construction* adalah suatu cara untuk mendesain sistem produksi untuk memperkecil pemborosan (*waste*), waktu, dan usaha untuk menghasilkan nilai yang maksimum. Menurut www.construction-institute.org (2005), *Lean construction* didefinisikan sebagai suatu proses yang berlangsung terus menerus dari proses menghilangkan *waste*, memenuhi kebutuhan konsumen,

fokus pada aliran informasi/material, dan mencapai kesempurnaan dalam pelaksanaan pembangunan dalam proyek.

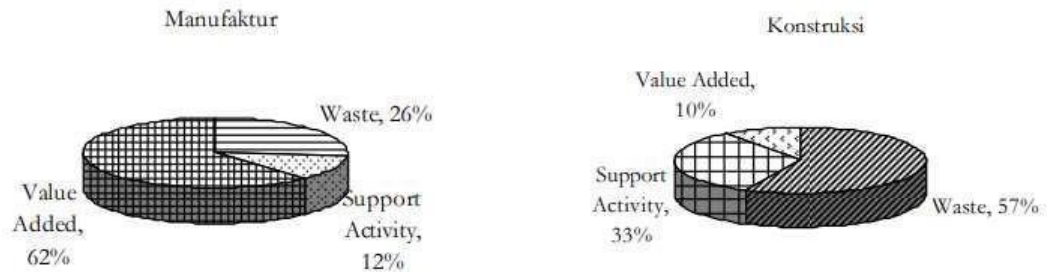
2.3.2. *Waste in Construction*

Waste merupakan bentuk ketidakefisienan dan pemborosan yang ditimbulkan dari bahan material, SDM, dan waktu. Pada sisi lain, konstruksi ramping (*lean construction*) memiliki 2 tujuan yang sangat fundamental yaitu meningkatkan *value* dan mengurangi *waste* atau limbah. Menurut Lee (1999), *waste* dalam konstruksi dan industri meliputi penundaan waktu, biaya kualitas, kurangnya keselamatan, *rework*, transportasi yang tidak perlu, jarak jauh, pilihan atau manajemen yang tidak tepat dari metode/peralatan, dan *constructability* yang lemah. Menurut Haggard (2005), *waste* dalam proses konstruksi meliputi: penanganan material yang berlebihan, *rework*, kesalahan desain, konflik antar pembeli, konflik antar kontraktor lain, tidak efektifnya rantai persediaan (*supply chains*). *Waste* didefinisikan oleh kriteria kinerja dari sistem produksi. Kegagalan untuk memenuhi permintaan unik dari seorang klien adalah pemborosan, waktu menunggu dan persediaan yang mengganggu (Howell, 1999). Sedangkan menurut *Green Building Council* Indonesia bangunan mengkonsumsi 39% energi dunia, 12 % Air Dunia dan kemudian menghasilkan 25% sampah (limbah atau *waste*) dan 35% Emisi Rumah Kaca sehingga dengan hasil limbah atau *waste* peneliti ingin efisiensi limbah tersebut.



Gambar 2.2 : Konsumsi Bangunan
Sumber : *Green Building Council* Indonesia

Kondisi industri saat ini yang merupakan sasaran utama dalam melakukan peningkatan terutama dalam bidang industri konstruksi melalui pemikiran *lean thinking* yang dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.3 : Kondisi Industri Saat Ini

Sumber : Haggard, 2004

Tabel 2.2. Limbah yang dihasilkan dalam konstruksi

Material	Mean	Median	Coefficient of		Min	Max	Number Of Site
	(%)	(%)	Variability	Coefficient	(%)	(%)	
Steel reinforcement	10.3	10.6	39.5	32.5	4.0	17	12
Premixed Concrete	9.5	8.6	56.8	49.7	2.4	23.3	35
Cement	73.7	45.2	84.6	109.3	6.4	247	41
Sand	47.5	40.7	71.9	67.6	6.8	118	24
Crushed stone	31.3	37.1	61.7	48.4	8.7	56.1	5
Lime	48	32.8	78.3	100.5	6.4	247	11
Premixed mortar	59.8	32.6	116.0	143.2	5.3	207.4	8
Soil (mortar constituent)	182.2	173.9	30.2	35.0	133.9	247.1	4
Ceramic blocks	18	13.8	75.8	76.6	2.0	60.7	53
Concrete blocks	11.3	7.7	98.4	95.8	1.2	43.3	30
Normal bricks	52.2	78.0	74.2	45.7	4.2	82.6	5
Ceramic tiles	15.6	144	74.1	63.0	1.8	49.7	18
Electrical pipes	15.4	15.1	17.1	17.3	12.9	18.1	3
Electrical wires	25	26.7	42.6	40.3	13.9	40.3	3
Hydraulic and sew age pipes	19.9	14.8	84.4	71.8	7.6	56.5	7
Gypsum plaster	45.1	29.5	151.2	223.3	-13.9	119.7	3

<i>Paints</i>	15.3	14.6	43.0	44.6	8.2	23.7	4
<i>Carpet</i>	14.0	14.0					1

Sumber : Formoso, Soibelman, De Cesare & Isatto, 2002.

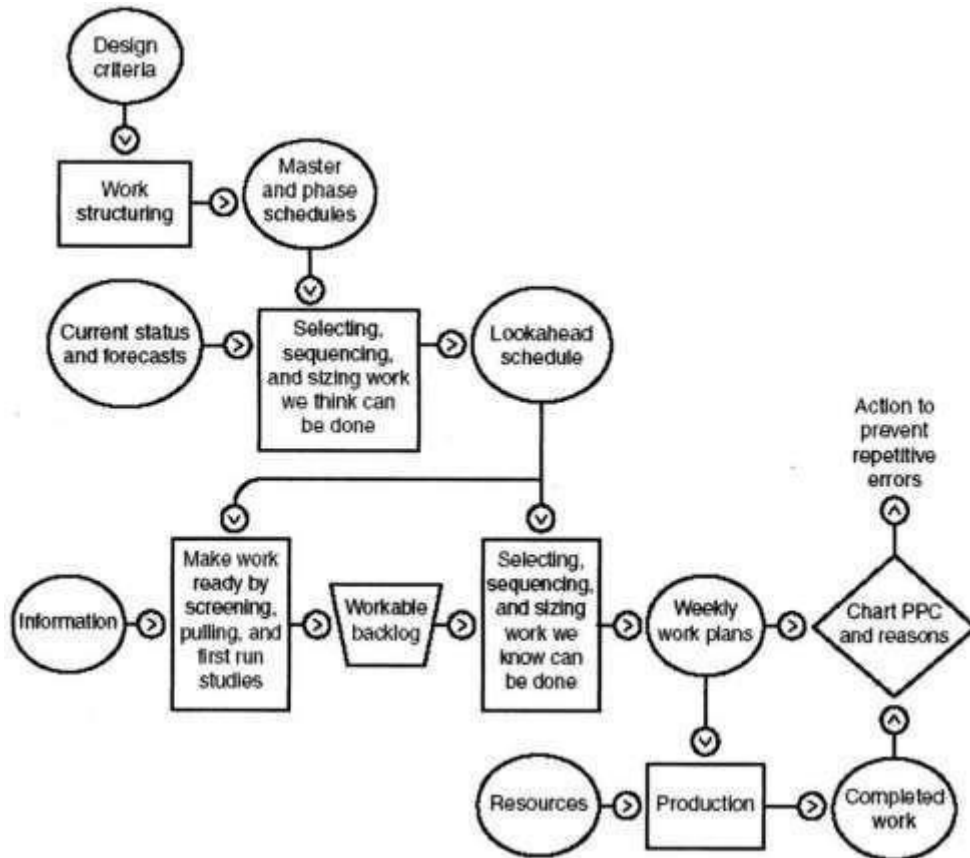
Penelitian di Brazil tahun 1996-1998

2.3.3. *Lean Method*

Lean construction adalah suatu filosofi yang berdasar pada konsep *lean manufacturing*. Hal ini adalah tentang bagaimana mengatur dan meningkatkan proses konstruksi untuk memperoleh keuntungan dan memenuhi kebutuhan *customer* (www.constructingexcellence.org.uk, 2004). Koskela et.al (Abdelhamid, 2005), *lean construction* adalah suatu cara untuk mendesain sistem produksi untuk memperkecil pemborosan (*waste*), waktu, dan usaha untuk menghasilkan nilai yang maksimum. Menurut www.construction-institute.org (2005), *Lean construction* didefinisikan sebagai suatu proses yang berlangsung terus menerus dari proses menghilangkan *waste*, memenuhi kebutuhan konsumen, fokus pada aliran informasi/material, dan mencapai kesempurnaan dalam pelaksanaan pembangunan dalam proyek. Manajemen proyek memilih untuk mengimplementasikan elemen dari "*lean thinking*" dalam desain dan konstruksi dari fasilitasnya, khususnya termasuk pengukuran komponen dari metode *Last Planner* dari control produksi/ kontrol produksi (Ballard, 1999). Metode ini memiliki 5 (lima) prinsip dasar untuk mengatasi berbagai situasi dalam control produksi dalam konstruksi (Koskela, 2000).

1. Pekerjaan (assignment) harus dikomunikasi sesuai dengan prasyarat
2. Realisasi dari pekerjaan terukur dan terkontrol
3. Sebab untuk yang tidak terelisasi diinvestigasi dan dihilangkan
4. Memelihara tugas penyangga yang diberitahukan kepada *crew*

- Memandang kemuka rencana (dengan horizon waktu sekita 3-4 minggu), prasyarat dari pekerjaan selanjutnya secara aktif harus sudah siap.



Gambar 2.4 Last Planner System Metodology

Sumber: Ballard,2000

Balard (2000) menjelaskan bahwa kontrol proyek (Project control) sangat berbeda dengan kontrol produksi (production control), dalam hal penyebab kegiatan sesuai dengan rencana dan merencanakan kembali jika pekerjaan tidak sesuai. Kontrol produksi berarti bahwa produksi sebagai aliran material dan informasi antara spesialis yang bekerja sama, yang didedikasikan untuk generasi nilai bagi pelanggan dan *stakeholder*. Dalam teorinya, ada asumsi yang mendasar yang perlu diketahui:

- Pemikiran dan praktik manajemen produksi industri konstruksi didominasi oleh model konversi, akibatnya nilai generasi dan konsep manajemen aliran dan

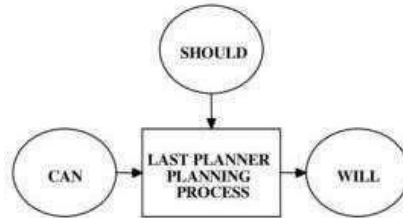
teknik kurang berkembang.

2. Agar konsisten dengan ketiga model, konversi, aliran, dan nilai, manajemen produksi harus dipahami sebagai memiliki tujuan menciptakan nilai pelanggan dan meminimalkan limbah dalam waktu dan biaya. "Pelanggan nilai" dipahami tidak hanya mencakup kesesuaian untuk penggunaan fasilitas dianggap berkaitan dengan fungsi, tetapi juga berkaitan dengan semua kriteria lain yang pelanggan menempel nilai, misalnya, pengiriman proyek dalam satu waktu dan biaya yang memenuhi pasar pelanggan dan kebutuhan keuangan.
3. "Produksi" dipahami untuk mencakup merancang dan membuat. Sejarah perkembangan teori produksi dalam manufaktur telah salah menyarankan bahwa produksi sepenuhnya peduli dengan 'membuat'.
4. Manajemen produksi dipahami terdiri dari penentuan kriteria dan penataan kerja dalam tahap 'perencanaan', dan terdiri dari kontrol alur kerja dan kontrol unit produksidi 'eksekusi' atau 'kontrol' fase.

Tujuan utama dari *Last Planner* adalah menjauhkan pekerja dari ketidakpastian yang tidak dikontrol melalui identifikasi aktif terhadap hambatan (constrain analisis). Untuk itu dalam pelaksanaannya diperlukan metodologi yang tepat dalam implementasinya dalam proyek konstruksi. Satu poin kunci adalah bahwa desain harus direncanakan, dikelola dan dikontrol di sekitar aliran dari informasi, bukan menyelesaikan, jika solusi yang koordinatif dan efektif ditemukan. *Last Planner* membantu tim proyek mengkreasikan pandangan yang sistematis dan rencana kerja mingguan sebelum desain dimulai untuk menjejaki status pekerjaan yang sudah dipenuhi (Choo,et al 2004). Perencanaan yang lebih baik dengan mereduksi keterlambatan, melakukan pekerjaan dalam urutan pembangunan terbaik, menyesuaikan pekerja dengan pekerjaan yang tersedia, mengatur kegiatan-kegiatan independen memiliki hubungan yang jelas dan sangat kuat untuk meningkatkan produktifitas (Ballard,1994)37. Permasalahan dasar manajemen kualitas konstruksi ditujukan hanya pada Sebagian walaupun penting, pengaturan limbah (waste), yang disebut cacat dan kegagalan untuk mempertimbangkan keinginan pelanggan.

Hasil *last planner* biasanya dievaluasi dengan mempertanyakan adakah perbedaan antara “*SHOULD*” dan “*CAN*”. Pengiriman sumber daya yang tidak menentu

seperti input informasi dan penyelesaian yang tak terprediksi dari prasyarat kerja menginvalidasi perkiraan persamaan dari “*WILL*” dengan “*SHOULD*”, dan dengan cepat menghasilkan penundaan perencanaan yang mengatur produksi aktual.



Gambar 2.5 *The formation of assignments in the Last Planner planning process.*

Sumber: Ballard, 2000

Last Planner System yang ditemukan oleh Ballard ketika menerapkan *Lean Production* untuk industri konstruksi merupakan sistem yang berfokus pada *flow* (Flow View). Selama pengembangan sistem ini tujuannya bergeser dari meningkatkan produktifitas menjadi peningkatan reliabilitas/keandalan dari aliran pekerjaan. Aliran pekerjaan dimulai dengan hasil disain yang lengkap. Selanjutnya pekerjaan akan ditentukan dari tujuan-tujuan dari desain tersebut. Sistem tarik atau pull system merupakan bagian penting dalam *Last Planner System*.

2.3.4. *Lean Principles*

Menurut www.constructingexcellence.org.uk (2005), prinsip *lean construction* adalah:

- a. *Eliminate waste* (menghilangkan barang sisa).
- b. *Precisely specify value from the perspective of the ultimate customer* (menentukan dengan tepat produk menurut pandangan konsumen).
- c. *Clearly identify the process that delivers what the customer value (the value stream) and eliminate all non value adding steps* (mengidentifikasi proses yang menunjukkan bagaimana pengantaran material/informasi konsumen dan mengurangi nilai yang tidak diperlukan).

- d. *Make the remaining value adding steps flow without interruption by managing the interfaces between different steps* (Menjaga sisa komponen/material tanpa interfensi pada berbagai langkah yang berbeda atau memanfaatkan limbah material dengan mendapatkan nilai).
- e. *Let the customer pull – don't make anything until it is needed, then make it quickly* (membuat produk saat dibutuhkan , dan pada saat itu produk dibuat dengan cepat).
- f. *Pursue perfection by countinuous improvement* (melakukan kesempurnaan produk dengan peningkatan secara terus menerus).

1.4. Bangunan Bertingkat Tinggi

2.4.1. Sejarah Bangunan Bertingkat Tinggi

Evolusi perkembangan dari bangunan bertingkat tinggi terbagi dalam 3 periode: Periode pertama dimulai pada *Equitable Life Insurance Building* 1857, New York, Amerika, sebagai "model" dengan konsep teknologi rangka secara visual (esetis) tetapi sebenarnya masih memakai sistem dinding pendukung dan diikuti dengan karakter yang sama pada *Marshall Field Warehouse* (bearing-wall, 1887, Chicago,

Periode kedua, evolusi bangunan tinggi yang rata-rata terjadi pada kota Chicago, mulai berpindah ke kota New York, dengan masa pembangunan yang cepat terutama sebelum perang dunia 1. Pada fase ini dengan bentuk menara *set hack* (berfasade lebar, sehingga mengurangi intensitas cahaya dan sirkulasi udara), berlanggam *ArtDeco*. Periode ini dimulai dengan bangunan *Singer & Metropolitan Life Insurance*, 1908/09, yang bergaya klasik. Dengan langgam Gothic, *Woolworth Building* (Cathedral of Commerce), dibangun pada tahun 1913.

Periode ketiga yang merupakan periode bangunan tinggi yang menggunakan beton bertulang. Istilah "*skycraper*" berubah menjadi "*high-rise*" dengan atap datar dan memakai material baja, beton, dll. Perancangan yang dilakukan lebih inovatif, inventif (terdata), dan eksperimental terhadap material dan teknis bangunan dalam teknologi dan fungsi. Efisiensi pada struktur ini terbangun pada tahun awal 1970-an. Seperti pembangunan *World Trade Centre* (110 lantai dengan tinggi 417 m) pada tahun 1972 di New York, *Sears Tower* (108 lantai dengan tinggi 442m) di

Chicago tahun 1974 dan *Twin Towers* (88 lantai dengan tinggi 452 m) pada tahun 1996 di Kuala Lumpur.

Indonesia, pembangunan bangunan tinggi pertama selesai dilaksanakan pada tahun 1962 di Jakarta yaitu pada pembangunan Hotel Indonesia 16 lantai yang merupakan karya dari arsitek Amerika yang bernama Abel Sorensen dan Wendy Sorensen. Kemudian disusul pembangunan Wisma Nusantara dengan jumlah lantai 30 lantai dan tinggi 117 m, yang merupakan karya dari arsitek Jepang yang dalam perencanaan pembangunannya telah menerapkan teknologi tahan gempa. Selain kedua bangunan diatas, di Jakarta telah berdiri lebih dari 800 bangunan tinggi dengan bangunan tertingginya adalah BNI 46 (51 lantai) yang tingginya 262 m.

2.4.2. Pengertian dan Fungsi Bangunan Tingkat Tinggi

High rise building atau bangunan tinggi merupakan istilah yang sering digunakan merujuk kepada bangunan yang memiliki struktur menjulang tinggi atau bangunan dengan jumlah tingkat yang banyak. Bangunan tinggi menjadi ideal dihuni oleh manusia sejak penemuan *elevator* (lift) dan bahan bangunan yang lebih kuat. Berdasarkan beberapa standar, suatu bangunan biasa disebut sebagai bangunan tinggi jika memiliki ketinggian antara 75 kaki dan 491 kaki (23m hingga 150 m). Bangunan yang memiliki ketinggian lebih dari 492 kaki (150 m) disebut sebagai pencakar langit. Tinggi rata-rata satu tingkat adalah 13 kaki (4 meter), sehingga jika suatu bangunan memiliki tinggi 79 kaki (24 m) maka idealnya memiliki 6 tingkat. Meskipun definisi tetapnya tidak begitu jelas, banyak lembaga mencoba mengartikan pengertian 'bangunan tinggi', antara lain:

- *International Conference on Fire Safety in High-Rise Buildings* mengartikan bangunan tinggi sebagai "struktur apapun dimana tinggi dapat memiliki dampak besar terhadap evakuasi"
- *New Shorter Oxford English Dictionary* mengartikan bangunan tinggi sebagai "bangunan yang memiliki banyak tingkat"
- *Massachusetts General Laws* mengartikan bangunan tinggi lebih tinggi dari 70 kaki

- Banyak insinyur, inspektur, arsitek bangunan dan profesi sejenisnya mengartikan bangunan tinggi sebagai bangunan yang memiliki tinggi setidaknya 75 kaki (23 m)

2.4.3. Struktur Bangunan

Struktur bangunan pada umumnya terdiri dari struktur bawah (lower structure) dan struktur atas (upper structure). Struktur bawah (lower structure) yang dimaksud adalah pondasi dan struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah, sedangkan yang dimaksud dengan struktur atas (upper structure) adalah struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah seperti, kolom, balok, plat, tangga.

2.4.4. Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya *differential settlement* pada sistem strukturnya. Pondasi merupakan bagian struktur dari bangunan yang sangat penting, karena fungsinya adalah menopang bangunan di atasnya, ada 2 macam jenis pondasi yaitu :

- Pondasi dangkal

Pondasi dangkal biasanya dibuat dekat dengan permukaan tanah, umumnya kedalaman pondasi didirikan kurang 1/3 dari lebar pondasi sampai dengan kedalaman kurang dari 3 m adalah apabila kedalaman alas pondasi (D_f) dibagi lebar terkecil alas pondasi (B) kurang dari 4, ($D_f/B < 4$). Jenis pondasi ini digunakan apabila letak tanah baik (kapasitas dukung ijin tanah $> 2,0$ kg/cm²) relatif dangkal (0,6-2,0 m)

- Pondasi Dalam

Yang disebut Pondasi dalam adalah pondasi yang didirikan permukaan tanah dengan kedalaman tertentu dimana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah, pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3m di bawah elevasi permukaan tanah. Pondasi dalam

dapat dijumpai dalam bentuk pondasi tiang pancang, dinding pancang dan *caissons* atau pondasi kompensasi, dengan *pile cap* sebagai ikatannya.

2.4.5. Raft Pondasi

Raft foundation bisa juga disebut sebagai *pile cap* raksasa, yang menggabungkan bukan hanya 4/5 tiang pancang bored pile, melainkan semua *pile cap* atau *bored pile* yang ada. *Raft foundation* merupakan tipe pondasi bangunan gedung bertingkat. Jika pada umumnya, pondasi gedung merupakan gabungan antara tiang pancang *bored pile*, *pile cap/ poor* dan *tie beam*, maka sistem *raft foundation* menghilangkan *pile cap* dan *tie beam* diganti dengan sebuah pondasi masif yang menyatukan seluruh *pile cap* atau *bored pile* yang ada.

2.4.6. Bekisting Pondasi

Formwork atau bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama selama beton dituang dan di bentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Dikarenakan berfungsi sebagai cetakan sementara, bekisting akan di lepas atau di bongkar apabila beton yang di tuang telah mencapai kekuatan yang cukup (Stephens 1985).

Menurut Blake (1975), ada beberapa aspek yang harus di perhatikan pada pemakaian bekisting dalam suatu pekerjaan konstruksi beton yaitu :

- Aspek pertama adalah kualitas bekisting
- Aspek kedua adalah keamanan bekisting
- Aspek yang ketiga adalah biaya bekisting seekonomis mungkin

Fungsi Bekisting Pada dasarnya konstruksi bekisting memiliki tiga hal fungsi:

1. Menentukan bentuk dari konstruksi beton yang dibuat.
2. Memikul dengan aman beban yang ditimbulkan oleh spesi beton serta beban luar lainnya yang menyebabkan perubahan bentuk pada beton. Namun perubahan ini tidak melampui batas toleransi yang ditetapkan.
3. Bekisting harus dapat dengan mudah dipasang, dilepas dan dipindahkan.

Mempermudah proses produksi beton masal dalam ukuran yang sama

Bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan, maka

berikut ini adalah jenis-jenis bekisting. Syarat Umum Bekisting Persyaratan bekisting adalah sebagai berikut :

- a) Bekisting harus kuat dan mampu mendukung beban kerja dan getaran getaran *vibrator* selama pengecoran sehingga dapat menjamin kedudukan konstruksi yang tetap.
- b) Bekisting harus kaku atau (rigid) untuk menahan beban yang bekerja selama pembangunan berlangsung, sehingga dapat mempertahankan bentuk dan dapat mencetak struktur beton sesuai rancangan.
- c) Bekisting harus cukup stabil dan kuat untuk dapat mempertahankan garis alinyemen sebagai bagian struktur beton.
- d) Bekisting cukup kokoh dan tidak akan mengalami kerusakan permukaan perubahan bentuk dan ukuran pada waktu di angkut ataupun di gunakan ulang.
- e) Permukaan bekisting harus rapat dan rata, serta dapat mencegah, merembesnya air semen, sehingga jumlah Faktor Air Semen (FAS) tidak berkurang.
- f) Permukaan bekisting harus terbuat dari bahan baik, dan tidak mudah meresap air, sehingga waktu pembongkaraannya dengan mudah dapat dilepaskan dari permukaan beton tanpa menyebabkan kerusakan pada beton.

- Bekisting Konvensional (Bekisting Tradisional)

Bekisting konvensional adalah bekisting yang menggunakan kayu ini dalam proses pengerjaannya dipasang dan dibongkar pada bagian struktur yang akan dikerjakan dan pada umumnya hanya dipakai untuk satu kali pekerjaan, namun jika material kayu masih memungkinkan untuk dipakai maka dapat digunakan kembali untuk bekisting pada elemen struktur yang lain.

- Bekisting Batako

Bekisting batako terbuat dari bahan semen, air, kerikil kasar dan pasir dimana untuk material alam tersebut jumlahnya terbatas. Pasir dan kerikil ditambang di seluruh dunia dan diperhitungkan untuk volume terbesar bahan padat diekstraksi secara global yang terbentuk oleh proses erosi selama ribuan tahun (John, 2009). Secara global, antara 47 hingga 59 miliar ton material ditambang setiap tahun

(Steinberger et al., 2010), di antaranya pasir dan kerikil, yang selanjutnya dikenal sebagai agregat, merupakan bagian terbesar (dari 68% hingga 85%) dan peningkatan ekstraksi tercepat (Krausmann et al., 2009).

Pasir dan kerikil mewakili volume bahan baku tertinggi yang digunakan di bumi setelah air. Penggunaannya sangat melebihi tingkat pembaruan alami. Selain itu, jumlah yang ditambang meningkat secara eksponensial, terutama sebagai hasil dari pertumbuhan ekonomi yang cepat di Asia (UNEP dan CSIRO, 2011). Efek negatif terhadap lingkungan tidak diragukan dan terjadi di seluruh dunia. Masalahnya sekarang sangat serius sehingga keberadaan ekosistem sungai terancam di sejumlah lokasi (Kondolf, 1997; Sreebha dan Padmalal, 2011). Kerusakan lebih parah di daerah tangkapan sungai kecil. Hal yang sama berlaku untuk ancaman terhadap ekosistem bentuk dari ekstraksi laut (Krause et al., 2010; Desprez et al., 2010; Boyd et al., 2005).

Merujuk fakta-fakta di atas maka perlu diadakan efisiensi pemakaian semen, pasir dan kerikil. Maka dari itu penulis ingin menyajikan studi kasus pekerjaan Struktur pondasi yang memakai *Raft foundation*. *Raft foundation* merupakan tipe pondasi bangunan gedung bertingkat jadi hasil dari penelitian ini nantinya dapat dipakai ke semua jenis Gedung bertingkat.

Bekisting *Raft* pondasi umumnya memakai bekisting batako pasangan satu bata untuk tinggi < 1,5 meter sedangkan untuk tinggi lebih dari > 1,5 meter menggunakan pasangan 2 bata dimana pada pekerjaan ini memerlukan material batako yang sangat besar. Dari sini peneliti menemukan alternatif bahan *waste/limbah* dari hasil bobokan tiang pancang *bored pile* untuk dimanfaatkan menjadi alternatif pengganti bekisting batako dimana material tersebut yang biasanya hanya untuk urugan melalui Analisa alternatif bahan *waste FAST diagram* dapat dimanfaatkan untuk pekerjaan bekisting pondasi struktur tersebut dengan biaya bahan 0%.

1.1.1 Data Proyek

Data primer penelitian ini adalah proyek yang dipakai untuk pengujian validasi studi kasus yaitu Pembangunan Gedung Tinggi. Berikut adalah data umum mengenai proyek pembangunan gedung yang dilakukan analisis Rekeyasa Nilai:

- Jenis Proyek : Gedung Tinggi
- Luas Bangunan : $\pm 37.898 \text{ m}^2$
- Nilai Rencana Anggaran Biaya : Rp 147.727.272.727,00
- Number Of Stories : 14 lantai + 1 Basement
- Building Height : 54 m
- Floor to floor : 4 m



Gambar 4.13. Tampak Bangunan

Sumber : Data Proyek

1.1.2 Karakteristik Proyek

Pembangunan Gedung tinggi dengan fungsi ini diperuntukkan sebagai gedung rawat inap dengan total luas bangunan $\pm 37.898 \text{ m}^2$, dengan 14 lapis bangunan termasuk satu lantai basement, dengan peruntukan sebagai berikut: a.

Fungsi Lantai

- Lantai Basement diperuntukan: *Linac, cyclotron, STP*, ruang rapat, kantin, ruang central gas medik, ruang panel & trafo, ruang genset, ruang central *pneumatic tub, ground water tank*, dan ruang pompa.
 - Lantai GF diperuntukan: ruang isolasi, klinik. Ruang observasi, MRI, citi scan, retail & Lobby
 - Lantai 1a diperuntukan parkir mobil
 - Lantai 2, diperuntukan: semua ruang poli.
 - Lantai 3, diperuntukan: ruang jantung, urologi, ruang gigi, ruang konsultasi.
 - Lantai 5 diperuntukan: ruang ruang tindakan, ruang administras, ruang OT, ruang linen, catlab.
 - Lantai 5a diperuntukan parkir mobil
 - Lantai 6 diperuntukan parkir mobil : ruang obat, ruang isolasi, ruang VIP HCU, Ante, ruang medis, ruang terapi, ruang procedur, ruang terapi, rekam medis, ruang AHU, Ruang Medical Rehab, ruang konsultasi, ruang dokter
 - Lantai 7 sd 15 ruang rawat inap
 - Lantai 16 diperuntukan: ruang kantor, diklat, gudang
 - Lantai Atap, diperuntukan: ruang mekanikal-elektrikal, helipad. penthouse lift, water tank.
- b. Pekerjaan Struktur: Pondasi *Bore Pile Ø-120 Cm*, Shear Wall 30 cm, Pelat Lantai 15 cm, Kolom, dan Balok K-400.
- c. Pekerjaan Arsitektur: dinding bata ringan, plester, aci, dan cat (interior); kosen, jendela, pintu alumunium + kaca; lantai homogenous tile dan keramik; plafond gypsum board dan kalsiboard rangka hollow; sanitair: kloset duduk, wastafel, urinoir + penyekat urinoir, kran, tempat tissue; dan *facade ACP panel*.
- d. Pekerjaan Mekanikal: suplai air bersih: PDAM dan deep well; sistem air limbah: IPAL; *sistem hydrant: sprinkler, box hidrant, dan siamese conection*; gas medis: sentra oksigen (O₂)- NFPA 99, sentral compressed air; pekerjaan drainase dan air hujan; pekerjaan *pnumatic tube*; dan pekerjaan plumbing
- e. Pekerjaan Elektrikal: *outgoing cubicle*; transformator kapasitas 1600 kVA; genset 600 kVA silent type; panel LVMDP + AMF/ATS; panel capasitor bank

600 kvar; pekerjaan lampu penerangan; pekerjaan *fire alarm*; pekerjaan telephon; pekerjaan tata suara; pekerjaan data LAN; pekerjaan CCTV; pekerjaan kabel *leader* dan kabel tray; pekerjaan CCTV; pekerjaan lift; pekerjaan penangkal petir; pekerjaan MATV; pekerjaan nurse call; dan Pekerjaan *Grounding*.

f. Pekerjaan Tata Udara: pekerjaan AC VRF/ VRV *interver system*, dan pekerjaan *pressurized fan*

Lingkup pekerjaan pada proyek pembangunan Gedung tinggi ini di bagi menjadi 12 bagian besar antara lain :

- Pekerjaan Preliminaries
- *Structural works - Basement*
- *Structural works - Hospital*
- *Structural Works - Parking*
- *Structural Works - Linac Room*
- *Architectural Works – Basement*
- *Architectural Works – Hospital*
- *Architectural Works – Parking*
- *Architectural Works - Linac Room*
- *External Works*
- *Prime Cost and Provisional Sums*
- *Additional Qty & Item*

Tabel 4.13. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No	Uraian pekerjaan	total (rp)	Bobot (%)
1	<i>Bill no. 1 - preliminaries</i>	14.000.000.000	9,48
2	<i>Bill no. 2 - preambles</i>	<i>Incl.</i>	
3	<i>Bill no. 3 - measured works</i>		
	<i>Bill no. 3.1 - structural works - basement</i>	25.425.785.440	17,21

	<i>Bill no. 3.2 - structural works - hospital</i>	33.749.455.700	22,85
	<i>Bill no. 3.3 - structural works - parking</i>	8.835.125.660	5,98
	<i>Bill no. 3.4 - structural works - linac room</i>	<i>Included</i>	
	<i>Bill no. 3.5 - architectural works - basement</i>	2.718.278.200	1,84
	<i>Bill no. 3.6 - architectural works - hospital</i>	50.073.651.527	33,90
	<i>Bill no. 3.7 - architectural works - parking</i>	4.005.821.200	2,71
	<i>Bill no. 3.8 - architectural works - linac room</i>	<i>Included</i>	
4	<i>Bill no. 4 - external works</i>	<i>To be provided</i>	
5	<i>Bill no. 5 - prime cost and provisional sums</i>	8.110.000.000	5,49
6	<i>Additional qty & item</i>	809.155.000	0,55
	<i>Sub-total</i>	147.727.272.727	100

Tabel 4.14. Cost Breakdown

No	Uraian pekerjaan		Bobot
I	Pekerjaan persiapan	14.000.000.000	9,477
ii	Pekerjaan struktur tower		
1	Pekerjaan lantai basement		
A	Galian tanah basement	1.362.219.852	0,922
B	Pekerjaan pondasi & plat lantai	5.899.149.515	3,993

C	Pekerjaan kolom & retaining wall	1.343.485.620	0,909
2	Pekerjaan struktur stp		
A	Site pile sekeliling stp	2.616.780.000	1,771
B	Galian tanah	227.036.642	0,154
C	Pekerjaan pondasi & plat lantai	1.095.369.903	0,741
D	Pekerjaan dinding stp	1.550.938.400	1,050
3	Pekerjaan struktur gwt		
A	Pekerjaan pondasi & plat lantai	1.095.369.903	0,741
B	Pekerjaan dinding gwt	223.914.270	0,152
4	Pekerjaan lantai 1 / dasar (level 0.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	947.149.097	0,641
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
5	Pekerjaan lantai 2 (level 4.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
6	Pekerjaan lantai 3 (level 8.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
7	Pekerjaan lantai 5 (level 12.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
8	Pekerjaan lantai 6 (level 17.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
9	Pekerjaan lantai 7 (level 22.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916

B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
10	Pekerjaan lantai 8 (level 26.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
11	Pekerjaan lantai 9 (level 30.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
12	Pekerjaan lantai 10 (level 34.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
13	Pekerjaan lantai 11 (level 38.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
14	Pekerjaan lantai 12 (level 42.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
15	Pekerjaan lantai 15 (level 46.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
16	Pekerjaan lantai 16 (level 50.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
17	Pekerjaan lantai atap (level 55.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.353.070.139	0,916
B	Pekerjaan kolom	902.046.759	0,611
18	Pekerjaan lantai atap lift & helipad		
A	Pekerjaan pelat lantai	357.045.000	0,242

19	Pekerjaan tangga		
A	Pekerjaan pelat lantai	1.820.774.120	1,233
20	Pekerjaan struktur linac		
A	Galian tanah	837.936.360	0,567
B	Pekerjaan pondasi & plat lantai	2.441.487.730	1,653
C	Pekerjaan dinding linac	2.515.434.800	1,703
21	Pekerjaan lantai 1 linac		
A	Pekerjaan pelat lantai	405.921.042	0,275
Iii	Pekerjaan struktur parkir		
1	Lantai basement (fl-4.00)		
A	Galian tanah	681.109.926	0,461
B	Pekerjaan pondasi & plat lantai	3.286.109.709	2,224
C	Pekerjaan dinding retaining wall	671.742.810	0,455
2	Pekerjaan lantai 1 / dasar (level 0.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	562.929.189	0,381
B	Pekerjaan kolom	562.929.189	0,381
3	Pekerjaan lantai 1a / dasar (level 0.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	562.929.189	0,381
B	Pekerjaan kolom	562.929.189	0,381
4	Pekerjaan lantai 2 (level 4.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	562.929.189	0,381
B	Pekerjaan kolom	562.929.189	0,381
5	Pekerjaan lantai 3 (level 8.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	562.929.189	0,381
B	Pekerjaan kolom	562.929.189	0,381
6	Pekerjaan lantai 5 (level 12.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	562.929.189	0,381

B	Pekerjaan kolom	562.929.189	0,381
7	Pekerjaan lantai 5a / dasar (level 0.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	562.929.189	0,381
B	Pekerjaan kolom	562.929.189	0,381
8	Pekerjaan lantai 6 (level 17.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	562.929.189	0,381
B	Pekerjaan kolom	562.929.189	0,381
9	Pekerjaan lantai 7 (level 21.00)		
A	Pekerjaan pelat lantai	335.596.600	0,227
10	Pekerjaan tangga & ramp		
A	Pekerjaan pelat lantai & ramp	1.005.375.420	0,681
Iv	Pekerjaan arsitektur tower		
1	Pekerjaan finishing		
A	Lantai basement (fl-4.00)	1.087.311.280	0,736
B	Lantai 1 / dasar (fl 0.00)	2.779.536.084	1,882
C	Lantai 2 (fl. 4.00)	2.779.536.084	1,882
D	Lantai 3 (fl 8.00)	2.779.536.084	1,882
E	Lantai 5 (fl 12.00)	2.779.536.084	1,882
F	Lantai 6 (fl 17.00)	2.779.536.084	1,882
G	Lantai 7 (fl 22.00)	2.779.536.084	1,882
H	Lantai 8 (fl 26.00)	1.259.667.272	0,853
I	Lantai 9 (fl 30.00)	1.259.667.272	0,853
J	Lantai 10 (fl 34.00)	1.259.667.272	0,853
K	Lantai 11 (fl 38.00)	1.259.667.272	0,853
L	Lantai 12 (fl 42.00)	1.259.667.272	0,853

M	Lantai 15 (fl 46.00)	1.259.667.272	0,853
O	Lantai 16 (fl 50.00)	1.259.667.272	0,853
N	Lantai atap 1	1.259.667.272	0,853
P	Lantai atap lift & helipad	1.259.667.272	0,853
Q	Pekerjaan <i>façade</i>	22.059.429.580	14,933
R	Pekerjaan <i>finishing</i> tangga	-	0,000
V	Pekerjaan arsitektur parkir		
1	Pekerjaan <i>finishing</i>		
A	Lantai basement (fl-4.00)	1.630.966.920	1,104
B	Lantai 1 / dasar (fl 0.00)	346.352.650	0,234
C	Lantai 1a / dasar (fl 0.00)	346.352.650	0,234
D	Lantai 2 (fl. 4.00)	346.352.650	0,234
E	Lantai 3 (fl 8.00)	346.352.650	0,234
F	Lantai 5 (fl 12.00)	346.352.650	0,234
G	Lantai 5a (fl 12.00)	346.352.650	0,234
H	Lantai 6 (fl 17.00)	346.352.650	0,234
I	Lantai 7 (fl 22.00)	346.352.650	0,234
J	Pekerjaan <i>façade</i>	1.235.000.000	0,836
R	Pekerjaan finishing tangga	-	0,000
3	Pekerjaan lain - lain		0,000
A	Pekerjaan mep & pekerjaan nsc	1.600.000.000	1,083
B	<i>Interior work</i>	610.000.000	0,413
C	<i>External work</i>	2.300.000.000	1,557
D	<i>Prov sump</i>	3.600.000.000	2,437

J	300mm thick ground slabs	934.175.000	5,09
K	500mm thick ground slabs	367.650.000	2,00
L	Tie beams	116.100.000	0,63
M	3650mm thick walls; Linac area. (Provisional Quantity)	102.125.000	0,56
N	3000mm thick walls; Linac area. (Provisional Quantity)	271.975.000	1,48
P	2150mm thick walls; Linac area. (Provisional Quantity)	48.375.000	0,26
Q	1500mm thick walls; Linac area. (Provisional Quantity)	830.975.000	4,53
R	350mm thick STP walls.	212.850.000	1,16
S	300mm thick retaining walls.	222.525.000	1,21
	<u>Grade fc' 30 Mpa vibrated reinforced concrete in.</u>		
T	Capping beams; as drg S-1003 and 1003A.	54.855.000	0,30
	<u>Grade fc' 25 Mpa vibrated reinforced concrete in.</u>		
U	Stair flights and stair landings incl. landing beams and columns.	20.200.000	0,11
	CONCRETE WORKS		
	REINFORCEMENT		
	<u>Grade BJTD-40 (fy = 4000 kg/cm²) hot rolled deformed bar reinforcement and BJTP-24 (fy = 2400 kg/cm²) plain bar reinforcement to.</u>		
A	Pilecap	2.223.721.600	12,11
B	Pilecap; linac areas	854.689.600	4,66

C	<i>Ground slabs.</i>	2.156.956.000	11,75
D	<i>Tie beams.</i>	690.023.600	3,76
E	<i>Capping beams.</i>	76.319.600	0,42
F	<i>Isolated columns.</i>	542.217.600	2,95
G	<i>Shear walls.</i>	460.165.600	2,51
H	<i>Walls; Linac area.(assume height) prov. Quantity (excl. roof slab Linac)</i>	1.000.584.800	5,45
J	<i>350mm thick STP walls.</i>	1.153.898.400	6,29
K	<i>300mm thick retaining walls.</i>	567.058.000	3,09
L	<i>Stair flights and stair landings incl. landing beams and columns.</i>	74.408.800	0,41
	SHUTTERING		
	<u><i>Shuttering, as specified to the following.</i></u>		
M	<i>Sides of pilecap</i>	223.962.000	1,22
N	<i>Sides of pilecap; linac area</i>	108.600.000	0,59
P	<i>Sides of tie beams</i>	70.416.000	0,38
Q	<i>Sides of capping beams.</i>	24.450.000	0,13
R	<i>Face of isolated columns.</i>	103.668.000	0,56
S	<i>Face of shear walls.</i>	64.385.000	0,35
T	<i>Face of walls; Linac area. (Prov quantity) (excl. roof slab Linac)</i>	261.400.000	1,42
U	<i>Face of STP walls</i>	184.190.000	1,00
V	<i>Face of retaining walls</i>	228.689.000	1,25
W	<i>Sloping soffit of stair flights.</i>	7.009.000	0,04

X	<i>Soffit of stair landings.</i>	5.053.000	0,03
Y	<i>Sides and soffit of landing beams.</i>	1.630.000	0,01
Z	<i>Face of stair columns.</i>	1.467.000	0,01
AA	<i>Edges of stair landing; not exceeding 200mm high.</i>	2.203.760	0,01
AB	<i>Edges of stair stringers; not exceeding 400mm high.</i>	4.694.400	0,03
AC	<i>Faces undercut of stair risers; not exceeding 185mm high.</i>	5.933.200	0,03
CONCRETE WORKS Cont'd)			
SURFACE FINISHES			
<i>Steel trowelled surface finish to.</i>			
A	<i>Concrete slabs</i>	93.637.500	0,51
B	<i>Ditto but to stair landings. [Provisonal Quantities]</i>	852.500	0,00
C	<i>Ditto but to top of stair treads. [Provisonal Quantities]</i>	1.017.500	0,01
WATERSTOP			
D	<i>Waterstop; type Supercast SW 10 ex Fosroc or Pentens SW equal approved as specified to basement walls and all wet area concrete slabs and wall joint and all concrete element to avoid water seepage. [Provisional quantities]</i>	43.642.500	0,24
SUNDRIES			
E	<i>Allow for all grooves, throats, rebates, chamfers or the like.</i>	80.000.000	0,44
F	<i>Allow for construction joint, weakened plane joint and expansion joint.</i>	80.000.000	0,44

	OTHER WORKS		
	<i>Other Works; Tenderer to insert here:</i>		
G	<i>Allow for poured concrete pile cap linac (add reinforced bar + wire mesh + chicken mesh).</i>	90.000.000	0,49
H			
J			
K			
	CONCRETE WORKS	18.358.155.660	100,00

Tabel 4.17. Cost Breakdown Pekerjaan Suttering /Bekisting Pondasi

No	Uraian Pekerjaan	Total	Bobot
	-		
1	<i>Sides of pilecap</i>	223.962.000	52,3976
2	<i>Sides of pilecap; linac area</i>	108.600.000	25,40779
3	<i>Sides of tie beams</i>	70.416.000	16,47435
4	<i>Sides of capping beams.</i>	24.450.000	5,720262
	SHUTTERING	427.428.000	100

Tabel 4.14 terlihat biaya terbesar pembangunan gedung tinggi ini pada pekerjaan struktur beton. Sedangkan untuk penerapan rekayasa nilai dipilih pada pekerjaan struktur beton lantai basement yaitu pekerjaan *Concrete Works* Rp. 18.358.155.660,00 dengan prosentase 72.2% terhadap struktur beton lantai basement atau 12.4% terhadap total biaya pelaksanaan fisik. Biaya pekerjaan struktur adalah biaya tertinggi Rp.68.010.366.800,00 dengan prosentase 46% dari biaya total. Untuk studi kasus pekerjaan kita pilih pekerjaan Bekisting Pondasi.

1.1.3 Penerapan dan Implementasi Studi Kasus Proyek

Penelitian ini memakai tahapan studi Rekayasa Nilai yang diintegrasikan dengan obyek penelitian yaitu pada pekerjaan Pondasi. Penerapan dalam pekerjaan yang dianalisa akan dilakukan melalui kajian *workshop* Rekayasa Nilai yang terdiri dari 6 tahap yaitu : Tahap Informasi, Tahap Analisis Fungsi, Tahap Kreatif, Tahap Evaluasi, Tahap Pengembangan, dan Tahap Rekomendasi.

1.2 Studi Rekayasa Nilai

1.2.1 Tahap Informasi

Pada tahap informasi ini merupakan proses dari pengumpulan informasi yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang seksama dari item studi dan mengidentifikasi pekerjaan yang akan ditinjau dengan mengumpulkan data-data sebanyak mungkin yang dapat mendukung. Informasi didapatkan dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) beserta Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS), dan gambar kerja. Setelah data direkap maka dilanjutkan dengan mengidentifikasi item berbiaya tinggi melalui analisis model biaya awal (*intial cost model*), *breakdown cost model*, serta analisis distribusi Pareto.

4.6.1.1 Pengumpulan Data

Beberapa data yang dikumpulkan untuk penelitian ini terdiri dari dua kategori, yaitu:

- Data Primer, adalah data yang didapat langsung dari proyek melalui tanya jawab dan konsultasi dengan pihak kontraktor.
- Data Sekunder, adalah data yang diperoleh dengan mengutip data yang sudah ada melalui narasumber diproyek yang relevan dengan analisis rekayasa Nilai yaitu :
 - Rencana Anggaran Biaya (RAB), Jadwal pengerjaan, daftar harga satuan, data bahan dan upah tenaga kerja
 - Studi Literatur, dengan mencari sumber informasi dan data yang relevan tentang Rekayasa Nilai, pekerjaan pondasi dan bangunan gedung tinggi

tentang landasan teorinya melalui jurnal-jurnal (baik luar maupun dalam negeri) dan referensi dari buku, penelitian lain dan media internet.

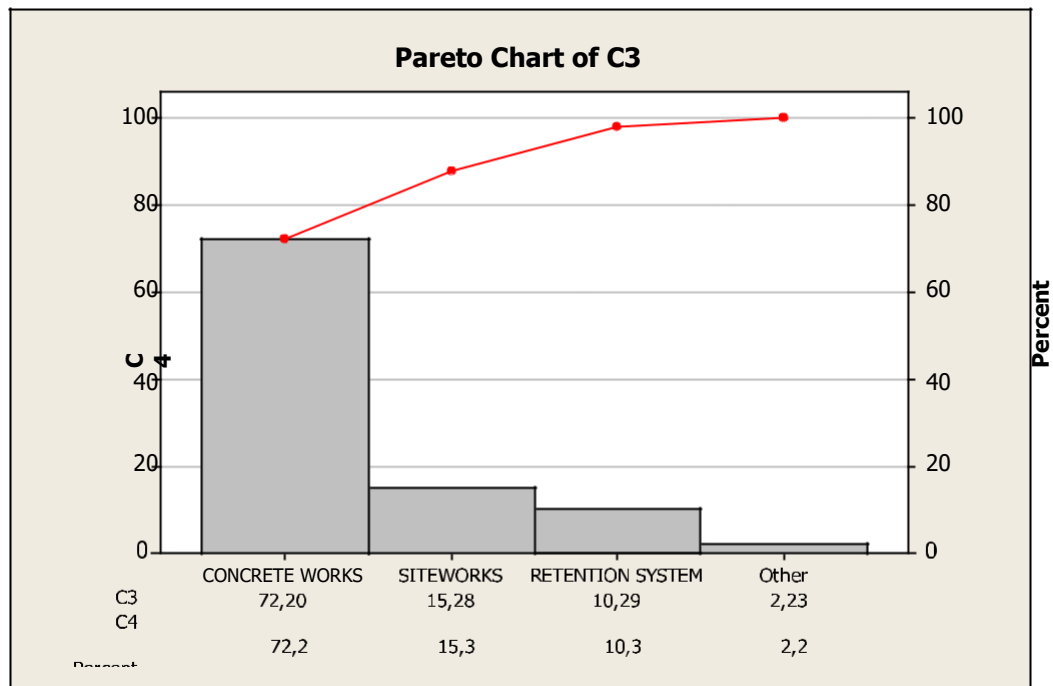
- Studi Wawancara, dengan mengumpulkan data yang akan digunakan untuk memperoleh informasi langsung dari sumbernya.
- Kuesioner, dengan mengumpulkan informasi dari responden dan pakar melalui beberapa pertanyaan dari lembar kuesioner yang disebar ke para pelaku manajemen konstruksi baik yang dilapangan (terlibat langsung) maupun yang diluar (perencana).

4.6.1.2 Analisa Distribusi Pareto

Menentukan lingkup pekerjaan rekayasa nilai salah satunya adalah dengan menggunakan analisis Pareto (Pareto's Law), dimana ditentukan bahwa lingkup pekerjaan rekayasa nilai adalah 20% dari bagian penting dari suatu item atau sistem akan mewakili 80% dari biaya seluruhnya (Chandra, 2014). Dengan menyusun item secara berurutan dari biaya yang tertinggi ke terendah dalam bentuk *breakdown cost model*, lalu diplotkan ke dalam kurva hubungan biaya item dan biaya kumulatif item dan tentukan garis batas 80% biaya untuk menentukan sasaran studi. Melalui Uji Pareto terhadap biaya proyek dari komponen proyek atau pekerjaan untuk dilakukannya studi Rekayasa Nilai. *Breakdown cost model* dapat dilihat sbb:

Tabel 4.18. Cost Breakdown Pekerjaan Basement

No	Uraian pekerjaan	total	Bobot
A	<i>Retention system</i>	2.616.780.000	10,29
B	<i>Siteworks</i>	3.884.689.780	15,28
C	<i>Concrete works</i>	18.358.155.660	72,20
D	<i>Thermal and moisture protection</i>	566.160.000	2,23
	<i>Total to main summary</i>	25.425.785.440	100,00



Gambar 4.14. Grafik Pareto

Sumber: Data Proyek

Pekerjaan pondasi ini dapat dijelaskan melalui analisa Pareto dengan mengurutkan biaya pekerjaan yang terbesar hingga terkecil, lalu menjumlah total biaya pekerjaan pondasi secara komulatif. Sehingga dari total keseluruhan biaya proyek dapat dilihat item pekerjaan concrete yang berbobot besar maka perlu dilakukan *value engineering & Lean Construction*.

1.2.2 Tahap Analisa Fungsi (Identifikasi Fungsi)

Pada tahap analisis fungsi, kegiatan yang pertama-tama dilakukan adalah melakukan identifikasi fungsi secara acak (random) dan selanjutnya mengelompokkannya, serta mengidentifikasikan terhadap masing-masing jenis fungsinya. Fungsi suatu komponen/proses terdiri dari kata kerja aktif (active verb) dan kata benda yang dapat diukur (measurable noun).

Hasil identifikasi fungsi bekisting pondasi dapat ditampilkan pada table berikut ini

Tabel 4.19. Analisis Fungsi pada Pekerjaan Pondasi

No	Uraian Pekerjaan	Kata Kerja	Kata Benda	Fungsi
A	Pengadaan material Suttering / Bekisting Pondasi	Langsir Material	Pengadaan	Primer
B	Pemasangan Bekisting Pondasi	Pemasangan	Pasang	Primer

1.2.3 Tahap Kreatif

Tahap kreatif adalah mengembangkan sebanyak mungkin alternatif yang bisa memenuhi fungsi primer atau pokoknya. Untuk itu diperlukan adanya pemunculan ide-ide guna memperbanyak alternatif-alternatif yang akan dipilih (Hutabarat, 1995). Alternatif-alternatif tersebut dapat ditinjau dari berbagai aspek, diantaranya:

1. Bahan atau material Semakin banyaknya jenis bahan bangunan yang diproduksi dengan kriteria fungsi yang sama dapat digunakan sebagai penggunaan bahan alternatif. Harga bahan bisa menjadi berbeda hanya karena memiliki merek atau lisensi yang berbeda. Maka pemilihan alternatif bahan dapat dilakukan dalam analisis Rekayasa Nilai. Sehingga pemilihan bahan yang akan digunakan dengan fungsi, mutu, dan kualitas yang sama dengan rencana awal dengan harga lebih rendah dapat dilakukan.
2. Cara atau metode pelaksanaan pekerjaan Pelaksanaan suatu pekerjaan tentunya mempunyai metode atau cara masing-masing. Dengan kemajuan teknologi muncul alat-alat yang lebih canggih untuk menyelesaikan pekerjaan yang membutuhkan waktu lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan alat-alat yang sederhana. Dalam Analisis Rekayasa Nilai dapat berpedoman pada metode pelaksanaan, semakin pendek waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan dengan menggunakan peralatan yang optimal biaya yang dikeluarkan semakin kecil atau efisien.
3. Waktu pelaksanaan pekerjaan Pekerjaan proyek harus sudah terjadwal dalam *time schedule*, dimana bobot pekerjaan yang tetap waktu pelaksanaannya dapat

dikurangi selama bukan dalam jalur kritis, diantaranya dengan mengganti metode pelaksanaan, menambah jam kerja, maupun menambah jumlah tenaga kerja. Sehingga pengurangan waktu pelaksanaan anggaran biaya bisa lebih efisien.

Tabel 4.20 Jenis Bekisting berdasarkan bahan yang digunakan

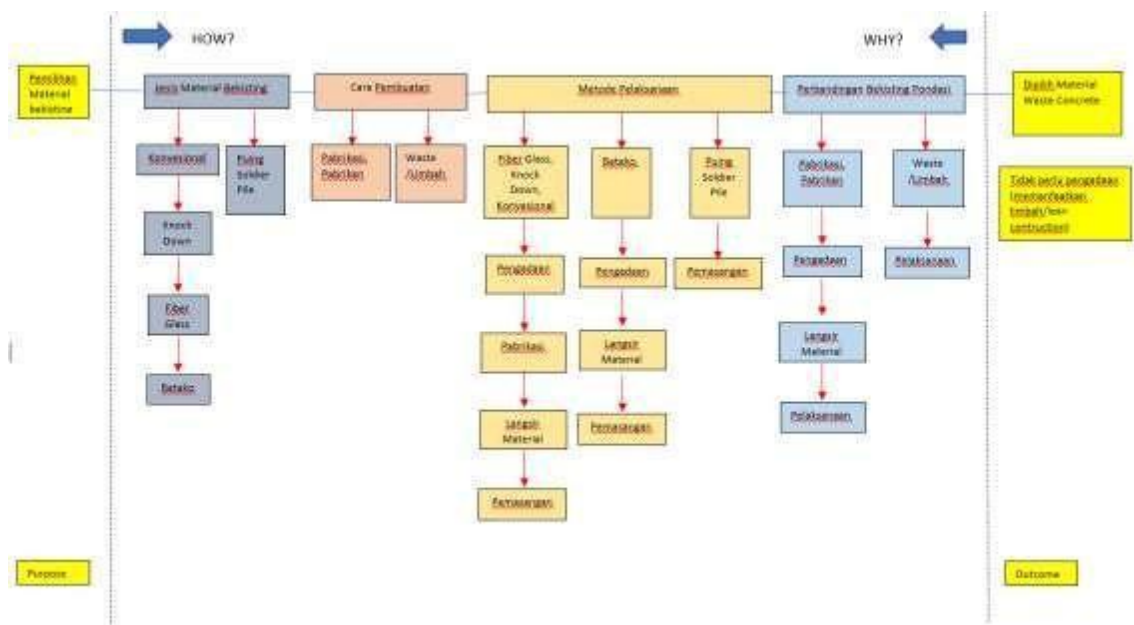
Jenis Bekisting	Kualitas Bahan	Cara Pembuatan	Bentuk Fungsi
Konvesional	Mutiplek	Pabrikasi & Pabrikan	Lembaran
<i>Knockdown</i>	Plat besi	Pabrikasi & Pabrikan	Modul
Fiber Glass	Fiber	Pabrikasi & Pabrikan	Modul
Batako	Campuran Pasir & Semen	Pabrikan	Persegi Panjang
Puing Bobokan	Ex. Beton	Pemanfaatan Limbah Bobokan	Tak Beraturan

Tabel 4.21 Metode dan Waktu Pekerjaan Bekisting Pondasi

Jenis Bekisting	Metode Pelaksanaan	Waktu Pelaksanaan	Keterangan
Konvesional	Pengadaan Material, Pabrikasi & Pelaksanaan	Jauh Lebih Lama perlu pengadaan Material	Adanya <i>Cost</i> Material Bekisting
<i>Knockdown</i>	Pengadaan Material, Pabrikasi & Pelaksanaan	Jauh Lebih Lama perlu pengadaan Material	Adanya <i>Cost</i> Material Bekisting
Fiber Glass	Pengadaan Material, Pabrikasi & Pelaksanaan	Jauh Lebih Lama perlu pengadaan Material	Adanya <i>Cost</i> Material Bekisting
Batako	Pengadaan Material, Pabrikasi & Pelaksanaan	Lebih cepat langsung pelaksanaan karena material sudah tersedia	<i>Zero Cost</i> Material Bekisting
Puing Bobokan	Pelaksanaan	Pemanfaatan Limbah Bobokan	Tak Beraturan

FAST Diagramming atau Diagram *FAST* (Function Analysis System Technique) adalah suatu metode untuk menstimulasi pemikiran dan kreatifitas

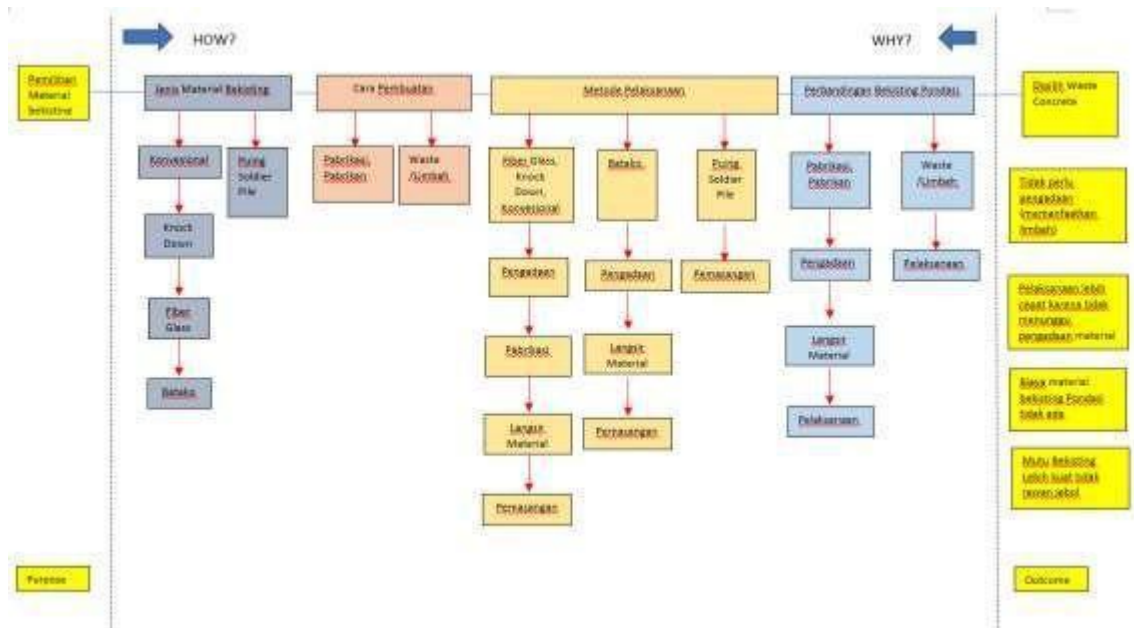
secara terorganisir tentang fungsi-fungsi dari suatu system, produk, rancangan, proses, prosedur, fasilitas, suplai dan sebagainya dengan mengajukan pertanyaan yang sifatnya analitis seperti bagaimana (how), mengapa (why), bilamana (when), dan apa (what). Dengan menggunakan diagram *FAST* orang dengan latar belakang teknis yang berbeda dapat berkomunikasi secara efektif untuk menyelesaikan masalah yang memerlukan pertimbangan multidisiplin. Selanjutnya fungsi-fungsi pondasi tersebut di susun dalam suatu diagram *FAST* (Function Analysis System Technique), seperti gambar berikut ini:



Gambar 4.15 FAST Diagram

Sumber : Hasil olah data (2020)

Hasil dari penyusunan fungsi dalam technical *FAST diagram* pada gambar di dapatkan fungsi yang menjadi obyek adalah bekisting pondasi yang sesuai fungsinya adalah menahan beban concrete untuk pembuatan pondasi. Sehingga diagram akan terlihat seperti gambar berikut ini setelah ditambahkan dan dikreasikan fungsinya guna mengoptimalkan nilai penggunaan.



Gambar 4.16 Analisa Fungsi Melalui FAST Diagram

Sumber: Hasil olah data (2020)

Hasil dari penyusunan setelah ditambahkan dan dikreasikan fungsinya ditemukan bahwa alternatif limbah beton dapat digunakan sebagai alternatif pengganti bekisting batako tanpa mengurangi nilai dan fungsinya guna mengoptimalkan nilai penggunaan.

1.2.4 Tahap Evaluasi

Analisa keuntungan dan kerugian, ide-ide didapatkan pada tahap kreatif dicatat keuntungan dan kerugiannya, kemudian diberi bobot nilai. Evaluasi ide harus se objektif mungkin. Langkah selanjutnya adalah keuntungan dan kerugian masing-masing ide kreatif dicatat, kemudian masing-masing alternatif diberi peringkat (rating). Pemberian ranking ini bertujuan untuk mengklasifikasikan alternatif-alternatif sesuai urutan keuntungan dan kerugiannya. Alternatif dengan ranking tertinggi ditunjukkan dengan pemberian angka terkecil, yaitu menunjukkan bahwa alternatif tersebut merupakan alternatif terbaik. Demikian sebaliknya, alternatif dengan ranking terendah ditunjukkan dengan pemberian nilai tertinggi, yang menunjukkan alternatif terjelek. Hasil dari analisa disajikan

dalam bentuk tabel. Pemberian rangking kepada setiap alternatif dalam analisa ini mengikutkan aturanaturan sebagai berikut :

- a) Rangking tertinggi diberikan kepada alternatif yang mempunyai keuntungan lebih banyak dan kerugian paling sedikit
 - b) Rangking-rangking berikutnya diberikan kepada alternatif-alternatif dengan keuntungan lebih sedikit dari rangking sebelumnya dan mempunyai kerugian lebih banyak dari rangking sebelumnya
 - c) Rangking terendah diberikan kepada alternatif-alternatif yang mempunyai biaya (cost) termahal, mempunyai keuntungan lebih sedikit dan kerugian terbanyak
- Evaluasi (Evaluation) analisa keuntungan dan kerugian pada analisa keuntungan dan kerugian, alternatif-alternatif yang didapatkan pada tahap kreatif ditulis keuntungan maupun kerugiannya, kemudian diberi bobot nilai.

Evaluasi ide harus seobjektif mungkin. Pembobotan kriteria dengan *Zero-One Method* pada tahap berikutnya adalah menentukan bobot dengan metode *zero-one* yang memberikan kriteria pada keuntungan dan kerugian dengan memberikan nilai 1 jika nomer kriteria pada kolom lebih penting dari nomer pada baris, dan juga sebaliknya. Kemudian kriteria tersebut ditotal dan diranking dari terendah sampai yang tertinggi. Setelah itu diberi bobot berdasarkan ranking tersebut. Penilaian eksisting dan usulan alternatif. Tahapan selanjutnya adalah keuntungan dan kerugian masing-masing ide kreatif dicatat, kemudian masing-masing alternatif diberi peringkat (rating). Pemberian rangking ini bertujuan untuk mengklasifikasikan alternatif-alternatif sesuai urutan keuntungan dan kerugiannya. Alternatif dengan rangking tertinggi ditunjukkan dengan pemberian angka terkecil, yaitu menunjukkan bahwa alternatif pada perhitungan Rekrayasa Nilai dalam memilih alternatif terbaik dapat dimunculkan kriteria-kriteria dari item pekerjaan bekisting pondasi. Kriteria tersebut merupakan komponen-komponen dalam tahap pekerjaan struktur. Keuntungan dan kerugian dari pemilihan bahan material bekisting dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini :

Tabel 4.22 Jenis Bekisting berdasarkan bahan yang digunakan

Ide Kreatif terpilih	Keuntungan	Kerugian
Pemanfaatan Limbah Puing Bobokan	Kualitas lebih kuat karena terbuat dari sisa bobokan beton soldier pile	Pemenuhan akan kebutuhan bekisting pondasi bergantung pada limbah puing bobokan
	Kecepatan karena tidak memerlukan waktu untuk pengadaan material	
	Persediaan material mengurangi pencemaran lingkungan akibat pemakaian material alam	
	Cost Tidak adanya cost untuk pembelian material bekisting	

4.6.5. Tahap Pengembangan

Tahap pengembangan, alternatif yang terpilih dari tahap sebelumnya dihitung biayanya, kemudian dibandingkan biaya design alternatif dengan design awal proyek. Adapun perbandingan biaya design awal dengan Rekayasa Nilai untuk pekerjaan pondasi lihat table berikut ini:

Tabel 4.23 Rencana Anggaran Biaya Pek. Bekisting Pondasi

A	<u>PASANG BATAKO TRAS 1 : 5 T=17 CM</u>		KOE.F.	HARGA	JUMLAH
				(Rp.)	(Rp.)
1	Bataco trass 35 x 17 x 8 cm	BH	30,0000	2.658	79.733
2	Pasir beton	M3	0,0797	250.589	19.972
3	Semen abu-abu	ZAK	0,3640	78.467	28.562
4	Upah pasang batako trass	M2	1,0000	22.148	22.148
Sub Total harga Satuan					150.415

B	<u>Kebutuhan material Di Lapangan</u>				
1	Bataco trass 35 x 17 x 8 cm	m2	3.596,00	79.733	286.719.149
	Sub Total				286.719.149

C	<u>Total biaya pek. bekisting pondasi</u>				
1	Bataco trass 35 x 17 x 8 cm	m2	3.596,00	150.415	540.891.578
	Sub Total				540.891.578

Tabel 4.24 Tabel Total Pek. Bekisting Pondasi

No	<u>Total biaya pek. Bekisting pondasi</u>				
1	Bataco Trass 35 X 17 X 8 Cm	m2	3.596,00	70.682	254.172.429
	Sub Total				254.172.429

Tabel 4.25 Tabel Usulan Pek. Bekisting Pondasi

Kriteria	Rencana Awal (Existing)	Alternatif Rekayasa Nilai & Lean
Jenis Pondasi	Batako	<i>Waste Concrete</i>
Biaya	540.891.578	254.172.429
Penghematan	286.719.149	53%

1.2.5 Tahap Rekomendasi

Tahap ini adalah tahap terakhir proses rekayasa nilai, yang terdiri dari persiapan dan penyajian kesimpulan Rekayasa Nilai kepada yang berkepentingan. Laporan hanya menyetengahkan fakta dan informasi untuk mendukung argumentasi. Semua variasi aspek teknis dan biaya design semua dibandingkan dengan hasil Rekayasa Nilai dipaparkan dengan jelas. Tahap rekomendasi juga merupakan proses mengajukan ide terbaik yang diusulkan untuk bisa diterima dan dilaksanakan untuk pemilik. Pada tahap ini mengrekomendasikan untuk pemakaian *waste* bobokan *bore pile* sebagai alternatif pengganti truss batako.

Hasil pada tahap *value engineering* ini yaitu **alternatif bahan bekisting pondasi diganti menggunakan *waste concrete* selanjutnya diteruskan untuk mendapatkan *waste concrete* sebagai pengganti batako trus dengan implementasi *Lean Construction* pada sub bab studi *lean construction* selanjutnya.**

4.7. Study Lean Contruction

4.7.1. Waste

Penggunaan material dalam konstruksi, terutama beton dan besi, selalu dalam jumlah yang sangat besar. Penggunaan material ini secara efisien akan memepengaruhi proyek secara keseluruhan. Limbah dalam industri konstruksi perlu diperhatikan bukan semata-mata karena aspek efisiensi saja, tetapi kekuatiran juga berkembang beberapa tahun terakhir mengenai efek merugikan dari limbah material bangunan pada lingkungan. Mengukur limbah merupakan cara yang efektif untuk menilai performa sistem produksi karena itu biasanya mengijinkan menuju area dari perbaikan potensial dan alasan utama identifikasi ketidakefektifan (Formoso, et al. 2002).

Penelitian menunjukkan bahwa dalam industri konstruksi limbah material didominasi oleh baja dan semen. Tetapi sebenarnya terdapat banyak variasi limbah material di salah satu area di lokasi proyek. variasi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.26. Limbah yang dihasilkan dalam konstruksi

<i>Material</i>	<i>Mean</i>	<i>Median</i>	<i>Coefficient of Variability</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Number Of Site</i>
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
<i>Steel reinforcement</i>	10.3	10.6	39.5	32.5	4.0	17	12
<i>Premixed Concrete</i>	9.5	8.6	56.8	49.7	2.4	23.3	35
<i>Cement</i>	73.7	45.2	84.6	109.3	6.4	247	41
<i>Sand</i>	47.5	40.7	71.9	67.6	6.8	118	24
<i>Crushed stone</i>	31.3	37.1	61.7	48.4	8.7	56.1	5
<i>Lime</i>	48	32.8	78.3	100.5	6.4	247	11
<i>Premixed mortar</i>	59.8	32.6	116.0	143.2	5.3	207.4	8
<i>Soil (mortar constituent)</i>	182.2	173.9	30.2	35.0	133.9	247.1	4
<i>Ceramic blocks</i>	18	13.8	75.8	76.6	2.0	60.7	53
<i>Concrete blocks</i>	11.3	7.7	98.4	95.8	1.2	43.3	30
<i>Normal bricks</i>	52.2	78.0	74.2	45.7	4.2	82.6	5
<i>Ceramic tiles</i>	15.6	144	74.1	63.0	1.8	49.7	18
<i>Electrical pipes</i>	15.4	15.1	17.1	17.3	12.9	18.1	3
<i>Electrical wires</i>	25	26.7	42.6	40.3	13.9	40.3	3
<i>Hydraulic and sew age pipes</i>	19.9	14.8	84.4	71.8	7.6	56.5	7
<i>Gypsum plaster</i>	45.1	29.5	151.2	223.3	-13.9	119.7	3
<i>Paints</i>	15.3	14.6	43.0	44.6	8.2	23.7	4
<i>Carpet</i>	14.0	14.0					1

Sumber : Formoso, Soibelman, De Cesare & Isatto, 2002. Penelitian di Brazil tahun 1996-1998

4.7.2. Jumlah limbah material dalam konstruksi dan pengelolaannya

Limbah yang dihasilkan dalam proyek konstruksi akibat dari penggunaan material yang dibawa ke lokasi berkisar antara 10% - 20% (Formoso, et al 2002; Santosa, 2004). Adapun jumlah total limbah konstruksi yang dihasilkan pada suatu daerah akan dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut:

1. Pembangunan ekonomi
2. Proyek-proyek khusus bersifat periodik
3. Bencana alam

4. Biaya pengangkutan dan pembuangan limbah
5. Peraturan mengenai daur ulang limbah
6. Ketersediaan fasilitas daur ulang
7. Seberapa jauh pasar material bekas dapat menyerap produk daur ulang.

Besarnya timbulan limbah konstruksi untuk beberapa negara maju dapat dilihat dalam table berikut:

Tabel 4.27. Timbulan Limbah yang dihasilkan dalam konstruksi di negara

Negara	Timbulan Limbah Kontruksi dan Perubahan dalam juta ton per tahun	Timbulan Limbah Kontruksi dan Perubahan dalam juta ton per tahun
Denmark	1.9 (1989)	2.2 (1993)
Germany	65 (1992)	44 (1989)
France	25 (1992)	
Netherlands	7.15 (1986)	14 (1993)
UK	45 (1992)	
Canada		11.2 (1992)
USA	25 (1986)	
Australia		14 (1997)
Japan		25.4 (1990)
Italy		34

Sumber : Budi Santoso (2004)

Pengelolaan limbah konstruksi merupakan rangkaian kegiatan yang mencakup penghasilan, penanganan, pengumpulan, pengangkutan dan pengolahan limbah termasuk perencanaan dan pengorganisasian dari mulai limbah itu dihasilkan sampai tempat pembuangan atau digunakan kembali. Masing masing kegiatan dan pengelolaan limbah konstruksi tersebut akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Penghasil limbah merupakan kegiatan dimana material diidentifikasi sebagai barang yang tidak digunakan lagi dan akan dibuang.

2. Penanganan limbah Penanganan limbah mencakup semua kegiatan, termasuk pemisahan limbah, sampai limbah tersebut dilafakkan dalam suatu wadah untuk pengumpulan.
3. Pengumpulan limbah Pengumpulan limbah yang dimaksud tidak hanya pengambilan limbah dan material yang dapat dipakai kembali dari tempat dihasilkan, melainkan juga memindahkan limbah material Ini menuju tempat yang ditentukan.
4. Pengangkutan limbah Pengangkutan limbah merupakan kegiatan pemindahan limbah dari lokasi yang telah ditentukan menuju fasilitas pengelolaan dengan menggunakan kendaraan.
5. Pengelolaan limbah Mencakup kegiatan berupa pengurangan berat dan volume dari limbah yang dihasilkan untuk kemudian dibuang, juga mencakup kegiatan pengelolaan material yang bisa digunakan Kembali
6. Kegiatan yang berhubungan langsung dengan limbah Kegiatan yang berhubungan langsung dengan limbah ditempat kerja adalah meliputi: membersihkan tempat kerja, memilah-milah limbah yang dihasilkan dari tempat kerja, mengumpulkan limbah setelah pemilahan, membersihkan limbah dari bahan tercemar kemungkinan digunakan kembali, menyimpan limbah yang dapat dijual, dan membakar limbah dilokasi proyek.
7. Pengangkutan / pembuangan limbah keluar lokasi proyek. Upaya pengelolaan limbah yang ke dua adalah mengangkut limbah ke luar lokasi proyek. Adapun kegiatan-kegiatannya adalah: membuang dengan cara membayar truk, menjual limbah dengan cara berkata, meberikan limbah dengan cumacuma pada pemulug, meberikan limbah pada pekerja, dan memberikan limbah pada pihak yang membutuhkan.
8. Aspek manajemen pengelolaan limbah Upaya selanjutnya adalah menugaskan mandor untuk merencanakan pengelolaan terhadap sampah, membuat rencana penanganan/pembuangan/pemakaian kembali di awal proyek, mewajibkan pekerja untuk mengawasi kegiatan yang berhubungan dengan limbah, mengalokasikan dana untuk pengelolaan limbah, meberikan persetujuan sebelum limbah diangkut keluar proyek, melakukan pendataan berapa banyak

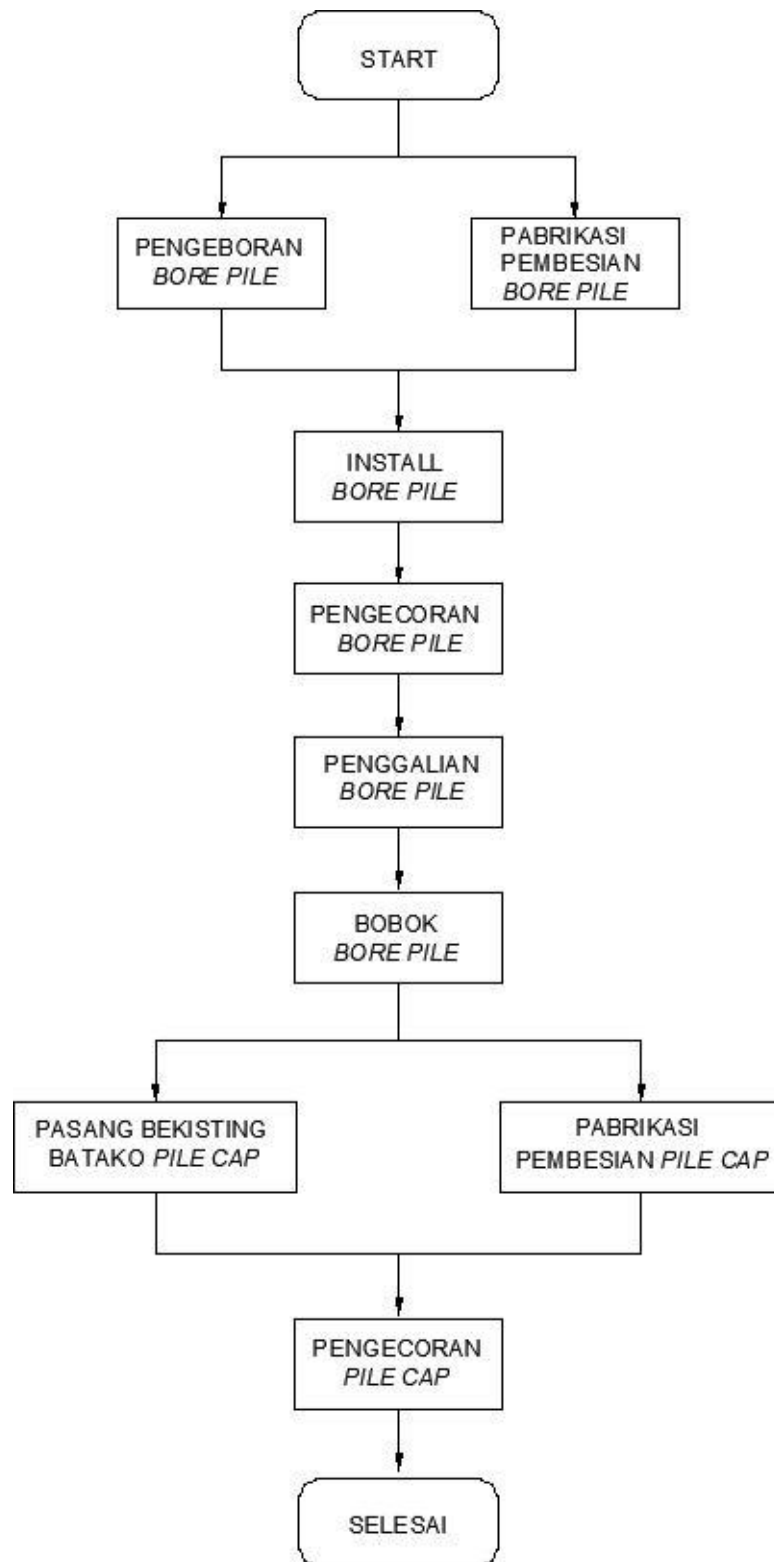
material yang menjadi limbah dan membicarakan pengolahan limbah dalam rapat mingguan atau bulanan.

4.7.3. Aplikasi *lean construction* untuk mengurangi limbah

4.7.3.1. *Last Planner System*

Last planner system merupakan Aliran pekerjaan dimulai dengan hasil disain yang lengkap. Hasil pengamatan oleh peneliti dalam studi kasus pekerjaan bekisting pondasi yang pada dasarnya konsep tersebut adalah melakukan perampingan pekerjaan sehingga proses tidak terlalu banyak dan menghabiskan waktu, biaya dan tenaga dalam jumlah yang besar. Gambaran umum alur aliran proses pekerjaan dapat dilihat pada gambar 4.19 sedangkan identifikasi aktifitas *breakdown* proses pekerjaan pondasi adalah sebagai berikut :

1. Pengeboran *bore pile*
2. Pembesian *bore pile*
3. Pengecoran *bore pile*
4. Penggalian Pondasi *bore pile*
5. Pembobokan *bore pile*
6. Pemasangan Pondasi Batako *Pile cap*
7. Pembesian *Pile cap*
8. Pengecoran Pondasi *Pile cap*



Gambar 4.17 Diagram Alur Pekerjaan Pondasi

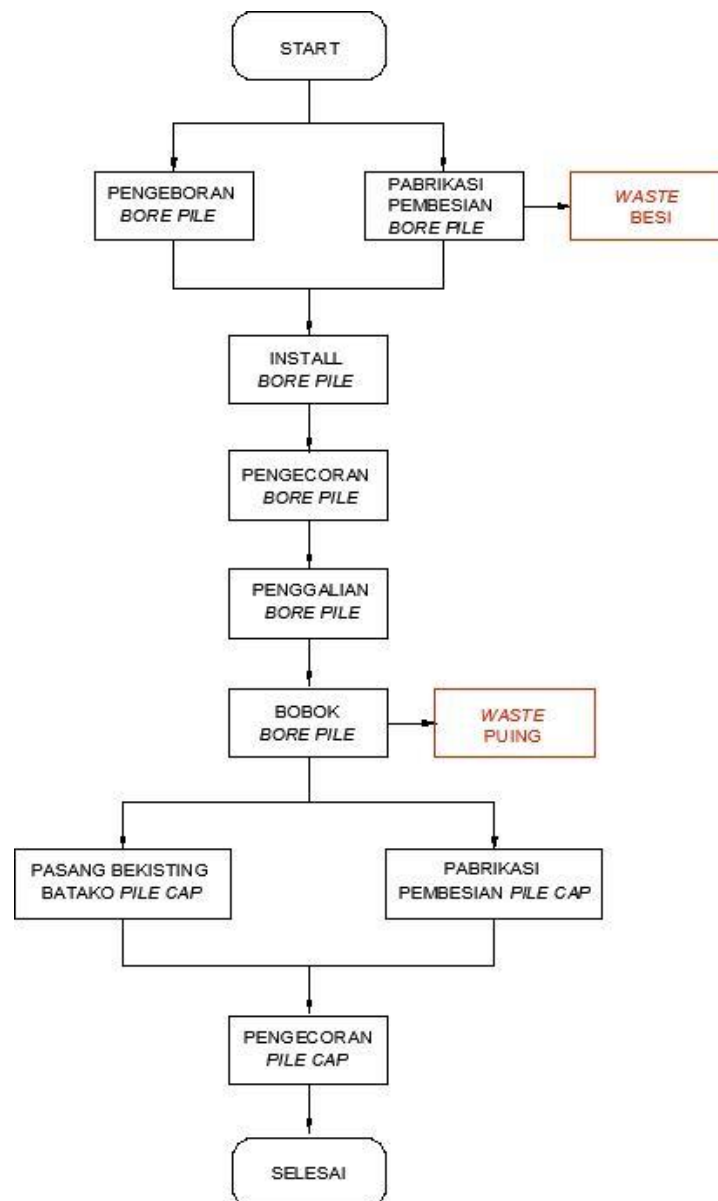
Sumber: Olah Data, 2019

Diagram diatas menjelaskan tentang alur pekerjaan pondasi yang akan dilakukan dimulai dari pekerjaan *bore pile* sampai pengerjaan pengecoran pondasi.

4.7.3.2. Analisis Limbah

Konseptualisasi proses desain dan konstruksi sebagai aliran informasi dan bahan sesuai untuk mengurangi limbah dengan meminimalkan informasi waktu atau bahan menghabiskan menunggu untuk digunakan, waktu yang dihabiskan informasi memeriksa atau bahan untuk kesesuaian terhadap persyaratan, waktu yang dihabiskan informasi pengerjaan ulang atau bahan untuk mencapai kesesuaian dan waktu yang dihabiskan untuk pemindahan. Selama pelaksanaan proses produksi pondasi limbah (waste) yang dominan adalah:

1. Beton
2. Besi



Gambar 4.18 Analisa Penghasil waste

Sumber: Olah Data, 2019

4.7.3.2.1. Limbah Beton

Proses pembobokan beton *bore pile* menghasilkan limbah beton yang sangat banyak. Biasanya perlakuan limbah ini hanya digunakan untuk pengurangan Kembali. Berikut terlampir data limbah beton yang dihasilkan dari bobokan *bore pile* di table 4.28.

Tabel 4.28. Limbah Bobokan *Bore pile*

No	Type	h	Luas	jml	Total	sat
1	BP	1	0,785	381	299,085	m3
2	A1	4,8	0,785	1	3,768	m3
3	A2,3,4,5	4,3	0,785	4	13,502	m3
4	A6	5,6	0,785	1	4,396	m3
5	T1,T2	4,3	0,785	2	6,751	m3
6	T3	5,6	0,785	1	4,396	m3
Total Limbah Bobokan					331,898	m3

Sumber : Olahan Sendiri (2019)

Tabel 4.29. Total kebutuhan Bekisting

No	Uraian Unit	Vol	Sat
1	Total Bekisting	3596	m2
2	1m2	16,81	bh
3		60436,97479	bh
4	1m3	210	bh
Total Vol. Bekisting		287,795118	m3

Sumber : Olahan Sendiri (2019)

Maka dengan kondisi limbah bobokan *bore pile* tersebut terhadap total kebutuhan bekisting telah mencukupi dan mengacu pada prinsip *lean construction* dilakukanlah pemanfaatan limbah tersebut. Yang pada akhirnya memberikan nilai ekonomis. Selain itu juga dengan penggunaan kembali limbah ini maka jumlah pemakaian material alam dapat berkurang sehingga pencemaran terhadap lingkungan juga berkurang.

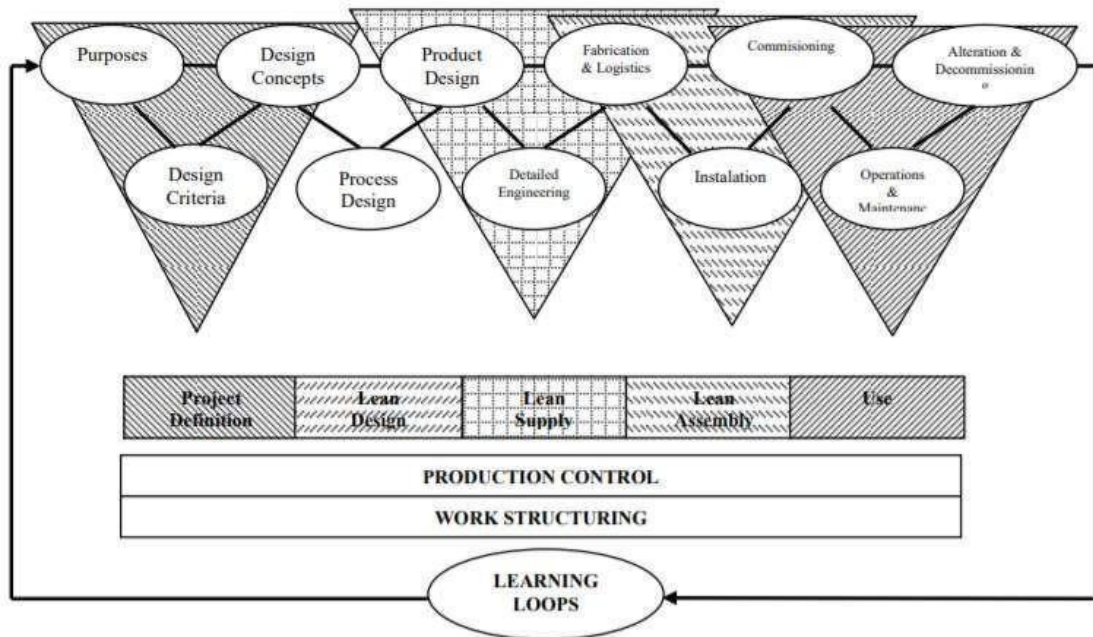
4.7.3.2.2. Limbah Besi

Besi Penggunaan material ini dalam jumlah besar sebagai tulangan setiap produk yang ditawarkan. Sehingga pekerjaan pembesian tidak terfokus pada satu produk saja. pengukuran besi sangat penting untuk hal ini. Limbah yang dihasilkan proses produksi tergantung dari pengaturan BBS. Limbah ini seperti dijelaskan pada penjelasan gambar 4.18 bahwa limbah besi dihasilkan pada proses pabrikasi besi. Proses ini dimulai dengan “bestat” yaitu proses pentuan dimensi dan bentuk dari besi yang akan dirangkai sebagai tulangan. Penentuan dimensi dan bentuk

rangkaian ini biasanya dalam pencacatan manual atau dengan menggunakan Microsoft Excel. Penggunaan besi dalam beberapa produk menyebabkan ukuran yang diinginkan juga beragam sehingga untuk menghindari kesalahan pemotongan dan optimalisasi penggunaan besi diperlukan pendataan yang lebih canggih. Apabila dimungkinkan dengan menggunakan program berbasis computer yang tidak bisa mencakup pendataan *stock* besi dan pemotongan sesuai dengan ketentuan.

4.7.3.3. Temuan

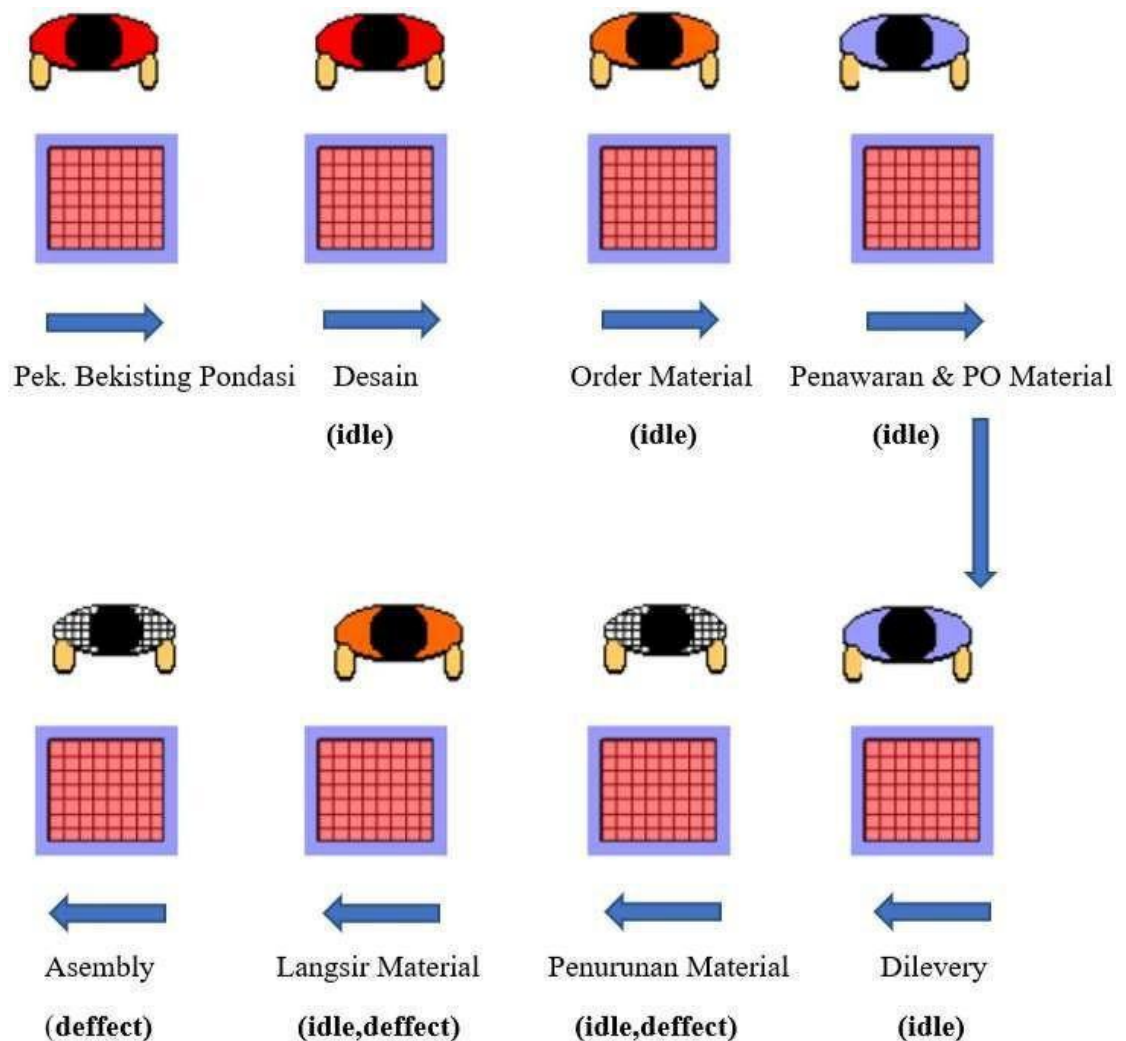
Prinsip lean construction www.constructingexcellence.org.uk (2005), dapat diambil Langkah yaitu *Eliminate waste* (menghilangkan barang sisa). *Waste* merupakan bentuk ketidakefisienan dan pemborosan yang ditimbulkan dari bahan material, SDM, dan waktu. Pada sisi lain, konstruksi ramping (lean construction) memiliki 2 tujuan yang sangat fundamental yaitu meningkatkan *value* dan mengurangi *waste* atau limbah. Dari studi literatur ditemukan bahwa ada limbah bobokan soldier pile yang begitu banyak yang biasanya hanya di urug saja akan tetapi dengan adanya prinsip lean maka barang tersebut dimanfaatkan untuk meningkatkan *value* yaitu dengan cara dimanfaatkan sebagai bekisting struktur bangunan pondasi pengganti dari bekisting batako. Selain itu juga diharapkan dengan penggunaan kembali limbah ini maka jumlah pemakaian material alam dapat berkurang sehingga pencemaran terhadap lingkungan juga berkurang (UNEP, 2014) Pasir dan kerikil mewakili volume bahan baku tertinggi yang digunakan di bumi setelah air. Penggunaannya sangat melebihi tingkat pembaruan alami. Efek negatif terhadap lingkungan tidak diragukan dan terjadi di seluruh dunia. Masalahnya sekarang sangat serius sehingga keberadaan ekosistem sungai terancam di sejumlah lokasi (Kondolf, 1997; Sreebha dan Padmalal, 2011). Kerusakan lebih parah di daerah tangkapan sungai kecil. Hal yang sama berlaku untuk ancaman terhadap ekosistem bentik dari ekstraksi laut (Krause et al., 2010; Desprez et al., 2010; Boyd et al., 2005).



Gambar 4.19 Lean Project Delivery System

Sumber: Ballard, 2000

Terlihat dari Gambar 4.21, yang menggambarkan *Lean Project Delivery System* (LPDS). Terlihat pada konsep LPDS ini, bahwa *Lean Construction* diaplikasikan pada seluruh daur hidup proyek konstruksi mulai dari definisi proyek, lalu desain, *supply*, *assembly*, serta penggunaan. Berikut ini adalah gambaran *Lean Project Delivery System* (LPDS) pada pekerjaan bekesting pondasi menggunakan batako truss.



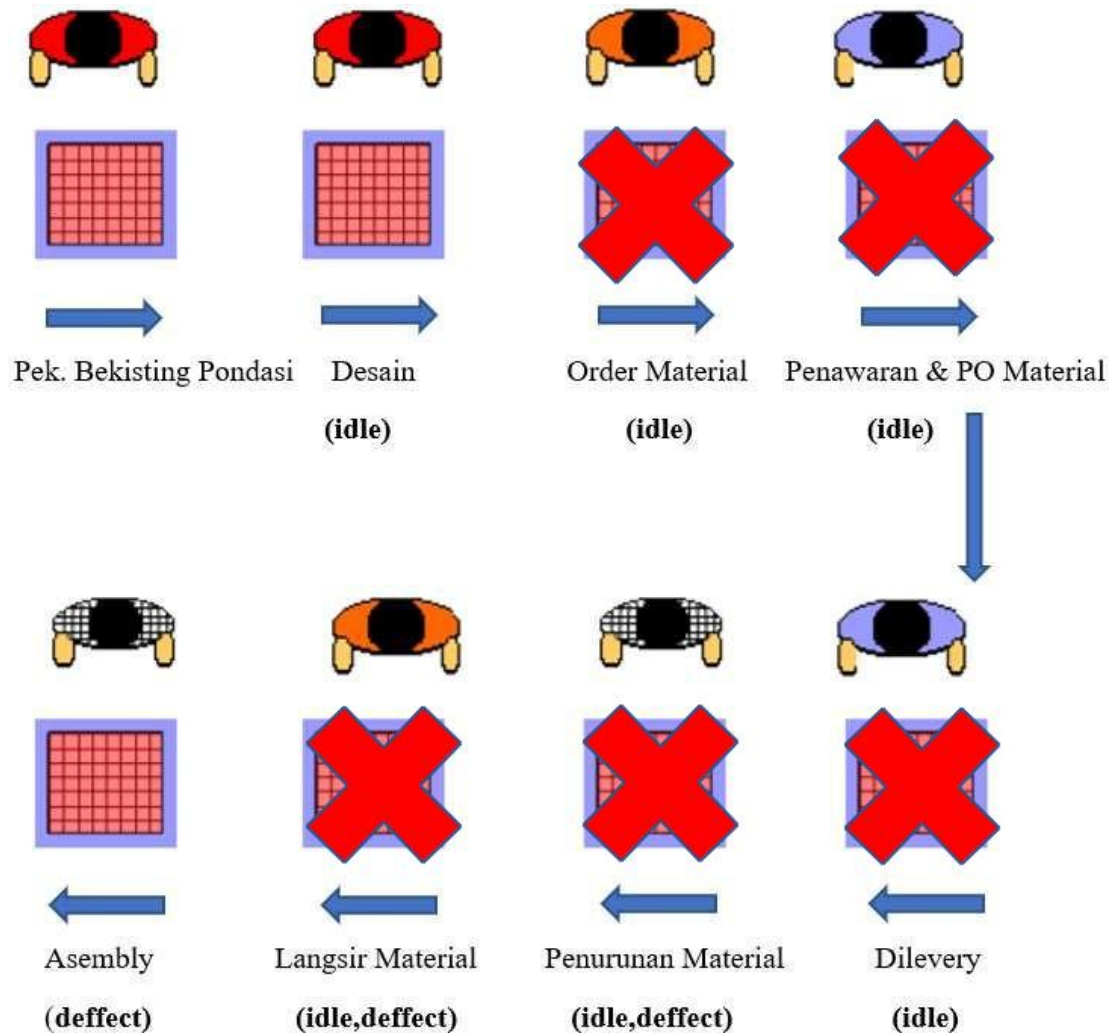
Gambar 4.20 Proses Lean Project Delivery System (LPDS)

Pek. Bekisting Pondasi

Sumber: Olah Data, 2019

Terlihat dari Gambar 4.22, yang menggambarkan *Lean Project Delivery System* (LPDS) pada pekerjaan bekisting pondasi. Terlihat pada konsep LPDS ini, bahwa terdapat beberapa *flow* yang kemungkinan menyebabkan *waste time & defect*. Maka perlu dikembangkan dengan lean construction agar setiap tahap dan aspek dapat mendukung penciptaan *value* yang diinginkan, menciptakan *flow* yang baik serta mengurangi *waste*.

Implementasi *Lean Construction* dari temuan *waste* puing bobokan



Gambar 4.21 Proses Produksi Lean Construction Bekisting Pondasi

Sumber: Olah Data, 2019

Terlihat dari Gambar 4.23, yang menggambarkan prinsip konstruksi ramping lean construction yaitu meminimalis *waste* dimana terdapat 5 *flow* aliran pekerjaan yang dapat minimalisirkan sehingga mendapatkan *value* yang diinginkan, menciptakan *flow* yang baik serta mengurangi *waste*.

Tabel 4.30. Perbandingan Penerapan *Lean Construction*

No	Uraian Proses Pekerjaan Pekerjaan							
	Truss Batako	Cycle Time	Cost	Resiko	Waste Puing	Cycle Time	Cost	Resiko
1	Persiapan							
	Order Material	1 Hari	Ada	Material Pecah	-		-	
	Penawaran/PO Material	1 Minggu	Ada	Pengiriman Terlambat	-		-	
	Dilevery	1-2 Hari	Ada	Harga Naik	-		-	
				Stok Material Habis, Kenaikan Harga				
2	Langsir Material			Bekisting Jebol				
	Penurunan Material	1 Hari	Ada		-		-	
	Langsir Material	1 Hari	Ada		-		-	
3	Proses Pekerjaan			Bekisting Jebol				
	Pemasangan	5m2	Ada			5m2	Ada	
					-		-	

Tabel 4.31. Hasil *Lean Construction*

No	LEAN PROSES	LEAN Cycle Time	LEAN FISIK	LEAN NON FISIK	LEAN COST	INITIAL
1	Order Material	Order Material	ZERO WASTE CONCRETE POURING	Order Material	Material	286.719.149
				Penawaran/PO Material	Penurunan Material	7.641.500
2	Penawaran/PO Material	Penawaran/PO Material		Dilevery	Langsir Material	7.641.500
	Delivery	Delivery		Penurunan Material		
				Langsir Material		
3	Penurunan Material	Penurunan Material				
	Langsir Material	Langsir Material				



Gambar 4.22 Pondasi *Bore Pile*

Sumber: Data Proyek (2019)



Gambar 4.23 Penerapan Konsep *Lean* Pemanfaatan Limbah Untuk Meningkatkan *Value*
Sumber: Data Proyek (2019)

4.8. Hasil Studi Kasus

Hasil akhir dari penerapan *value engineering & Lean Construction* disimpulkan sebagai laporan akhir berisikan data sebagai berikut:

Tabel 4.32 Tabel Total Pek. Bekisting Pondasi

No	<u>Total biaya pek. Bekisting pondasi</u>				
1	<i>Bataco Trass 35 X 17 X 8 Cm</i>	m2	3.596,00	70.682	254.172.429
	Sub Total				254.172.429

Tabel 4.33 Tabel Usulan Pek. Bekisting Pondasi

Kriteria	Rencana Awal (Existing)	Alternatif Rekayasa Nilai & <i>Lean</i>
Jenis Pondasi	Batako	Limbah Bobokan <i>Soldier Pile</i>
Biaya	540.891.578	254.172.429
Penghematan	286.719.149	53%