

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Umum

##### 2.1.1 Tinjauan Industri

###### A. PT. Dirgantara Indonesia

Tujuan dari didirikannya PT DI adalah mengembangkan usaha di bidang perhubungan, komunikasi, keamanan, dan pertahanan dalam bentuk industri serta perdagangan. Perusahaan mewujudkan pengembangan dalam bentuk optimalisasi terhadap sumber daya yang ada sehingga juga mampu memenuhi keuntungan sebagai sarana peningkatan nilainya sendiri. Secara khusus PT DI memproduksi, memasarkan, menjual, dan mendistribusikan produknya berupa purwarupa pesawat terbang maupun produk kedirgantaraan lainnya. Sebagai tambahan untuk peningkatan nilai perusahaan juga melakukan jasa pemeliharaan dan modifikasi pesawat maupun alutsista serta jasa teknologi kedirgantaraan.

Saat ini PT. DI sedang menjalankan langkah *Progressive Manufacturing Plan*, sebuah langkah mencari pasar dan belajar mengenai produksi yang dilisensi. Saat ini, PT. DI telah memperoleh lisensi beberapa jenis pesawat terbang milik CASA Spanyol. Akan tetapi untuk kedepannya perusahaan ini tidak bisa selamanya melakukan hal ini dan harus mandiri. Perusahaan Dirgantara Indonesia sendiri memiliki luasan total 82 hektar di Kota Bandung dan masih ditambah lagi dengan kawasan produksi di Kota Surabaya. Lokasi perusahaan berada dalam lingkup bandara Husein Sastranegara dan tepat berbatasan dengan runway bandara. Rata-rata bangunan gedung di kawasan produksi yang ada setara 4-5 lantai.

### 1. Visi

PT DI adalah menjadi perusahaan kelas dunia dalam industri berbasis pada penguasaan teknologi tinggi dan mampu bersaing dalam pasar global dengan mengandalkan keunggulan biaya.

### 2. Misi

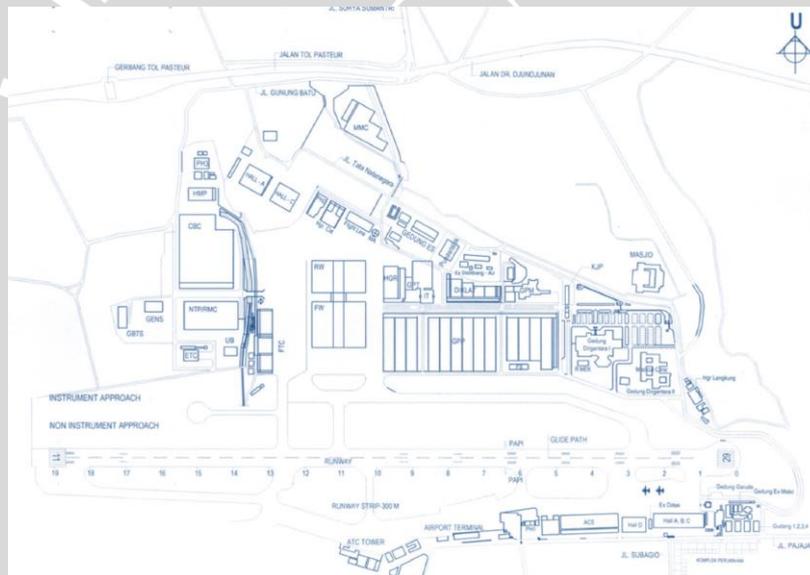
- PT DI adalah sebagai pusat keunggulan di bidang industri dirgantara terutama dalam rekayasa, rancang bangun, manufaktur, produksi dan pemeliharaan untuk kepentingan komersial dan militer dan juga aplikasi di luar industri dirgantara.
- Menjalankan usaha dengan selalu berorientasi pada aspek bisnis dan komersial dan dapat menghasilkan produk jasa yang memiliki keunggulan biaya.



Gambar 2. 1 Kawasan PT. DI Bandung (putih) dalam maket



Gambar 2. 2 Salah satu hanggar perakitan di PT. DI KP-IV



Gambar 2. 3 Master plan kawasan produksi PT. DI

Sumber: Divisi Fasilitas PT DI

### B. Alur produksi pesawat Terbang PT. Dirgantara Indonesia

Pencetakan modul dengan CNC → dipanaskan → di beri lapisan dasar → Perakitan komponen dasar (*Sub-assy*) → Perakitan komponen (*Assy*) → Perakitan akhir (*Final Assy*) → Pemasangan mesin → Pemasangan Interior → Pengecatan

Dalam metal forming atau pembentukan modul pesawat terjadi proses penggerusan material mentah pesawat yakni aluminium. Aluminium yang digerus dengan kisaran tebal

15 hingga 20 cm tergantung dimensi rangka pesawat. Proses tersebut menciptakan residu 80% dari total volume awal aluminium, pekerjaan ini dilakukan dengan CNC. CNC adalah *Computer Numerical Control* yang merupakan alat kontrol bagi perkakas lain sehingga pekerjaan akhirnya dilakukan secara otomatis. Data dalam melakukan pekerjaan didapatkan dari CAD (*Computer Aided Design*) sejenis AutoCAD, Inventor, atau CAM yang lebih khusus untuk dunia manufaktur.



Gambar 2. 4 Hasil metal forming



Gambar 2. 5 Gambaran bagian-bagian pesawat

Sumber: [www.sonexaircraft.com/](http://www.sonexaircraft.com/)



Gambar 2. 6 Rangkaian bagian

Sumber: [www.airliners.net/](http://www.airliners.net/)

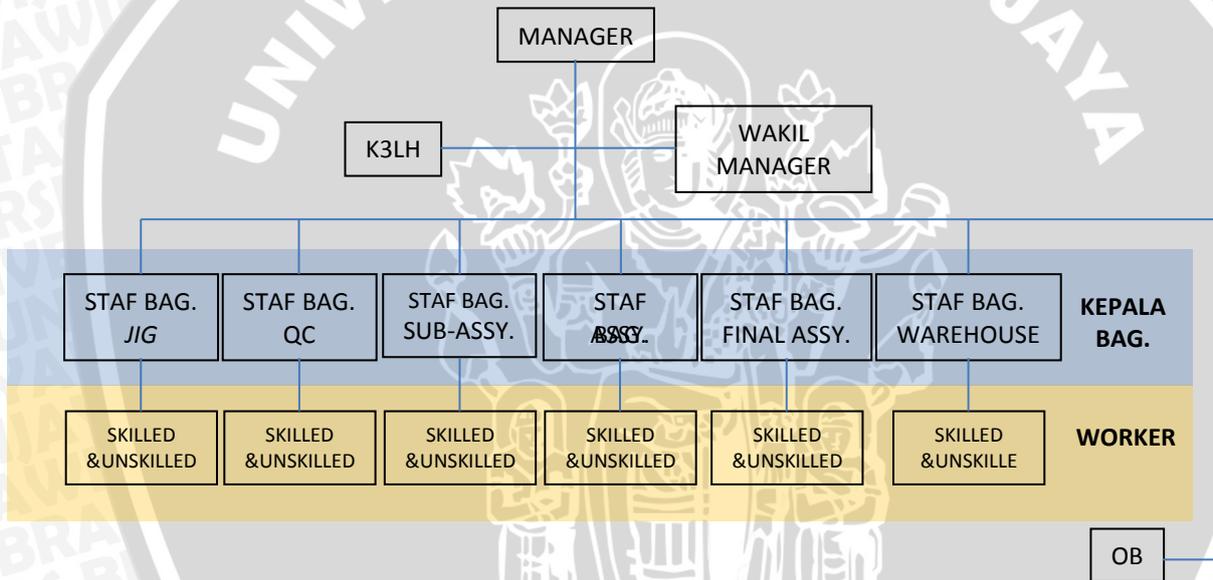


Gambar 2. 7 Jig pada salah satu hanggar PT. DI

Dalam perakitan komponen atau *assy* hal yang dilakukan adalah penyambungan antara komponen dasar pesawat terbang. Komponen pesawat bisa terdiri dari *nose* atau hidung, *fuselage* atau badan, *wing* atau sayap, *tail boom* atau badan ekor, *tail wing* atau sayap ekor pesawat terbang. Produksi harus dilakukan pada tempat yang memadai. Setelah *assy* dilakukan maka berikutnya pesawat akan memasuki tahap perakitan akhir. Pada tahap ini komponen-komponen pesawat tadi dihubungkan menjadi satu kesatuan pesawat utuh. Setelah itu baru dimasukkan elemen-elemen mekanikal, elektrikal, serta estetika pesawat terbang.



Gambar 2. 8 Perakitan akhir pesawat terbang

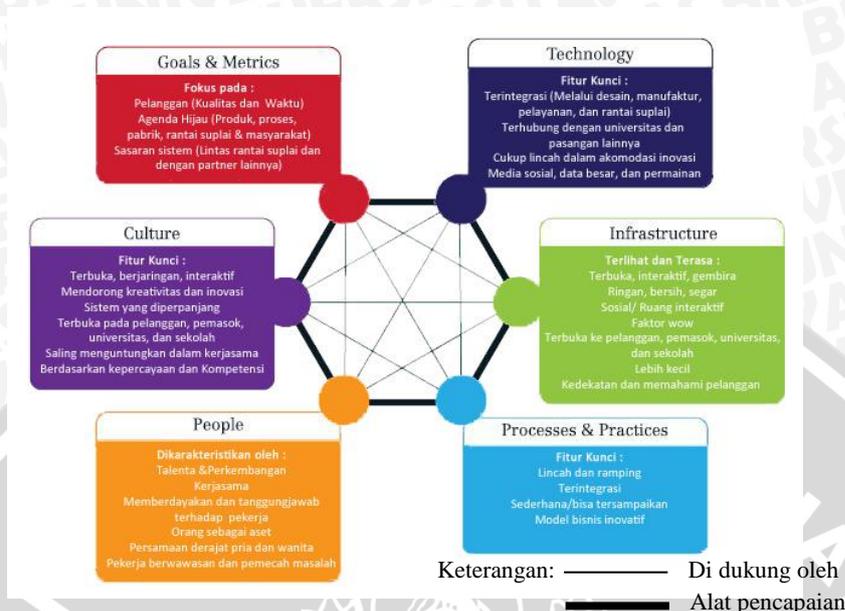


Gambar 2. 9 Diagram sistem manajemen pada tiap hanggar perakitan PT DI

Industri termasuk perakitan pesawat terbang harus memiliki visi untuk meningkatkan pengembangan kuantitas serta kualitas produksinya. Dalam sebuah riset di Eropa yang dipublikasikan oleh Universitas Sheffield AMRC tentang Kriteria pabrik dimasa depan didapati beberapa kriteria. Kriteria yang dihasilkan dimasukkan kedalam beberapa kategorikan,yakni tujuan dan metrik, teknologi, budaya, insfrastruktur, masyarakat, serta proses dan latihan. Kesemuanya tadi saling berkaitan untuk mencapai satu tujuan yang disimpulkan dari komparasi pandangan industri beberapa negara. Dalam riset tersebut 31 orang menjadi narasumber dari tujuh belas pertanyaan yang telah disiapkan. Negara yang



dijadikan komparasi adalah Uni Eropa, Jepang, Korea Selatan, China, Amerika Serikat, Jerman, dan Singapore.



Gambar 2. 10 Konsep industri masa depan berdasarkan riset Universitas Sheffield AMRC

Sumber: Ridgway, Keith, et al. 2013

Pada diagram hasil riset dapat dibaca bahwa *Goals & Metrics* dapat dicapai dengan dukungan teknologi manajemen dan alat yang maju dan kultur yang baik. Teknologi yang digunakan berhubungan pada tujuan dan infrastruktur yang memadai dalam berindustri. Dalam perancangan infrastruktur dilatar belakangi oleh teknologi yang akan dimasukkan serta proses produksi yang akan terjadi didalamnya. Proses yang terjadi membutuhkan manusia yang bertalenta dibidangnya dan infrastruktur pendukung yang memadai. Manusia yang bekerja dalam suatu industri harus tertata berdasar proses produksi yang teratur dan pembentukan budaya kerja yang baik.

Pemanfaatan teknologi yang ada harus dilengkapi dengan manusia yang ahli, keteraturan proses produksi, dan budaya kerja yang baik. Infrastruktur industri harus berkesesuaian dengan *goals & metric* industri bersangkutan serta tanggap akan budaya kerja yang ingin dibangun melalui aset perusahaan (pegawai) yang berkeahlian tinggi. Proses industri yang akan diterapkan harus memperhatikan waktu, kualitas, serta lingkungan sekitar yang dapat dilakukan dengan pengembangan teknologi serta budaya berindustri yang baik. Manusia yang ada harus memahami benar tentang pengetahuan akan industri yang dia kerjakan, teknologi yang digunakan serta mampu memanfaatkan dan menjaga infrastruktur yang ada. Budaya yang terjadi akan memberikan gagasan-

gagasan baru dalam penggunaan teknologi serta adaptasi insfrastruktur dalam proses industri terkait.

## 2.1.2 Tinjauan Produksi

### A. Proses perakitan

Dalam sebuah proses perakitan pesawat terdapat beberapa kegiatan yang harus dilakukam secara berurutan dan teratur yang harus dilakukan. Elemen pesawat memasuki tahap *bonding* (penyatuan) setelah elemen mentahan pesawat terbang diproduksi oleh bagian *metalforming*. Pada tahap ini mulai digunakan *jig* sebagai alat bantu menyusun antar elemen serta acuan sistem pendeteksi *defect* (cacat). Ketika semua elemen yang dibutuhkan telah disusun maka dilakukan *riveting* dengan *riveter* bertenaga tekanan udara. Selama proses perakitan tidak digunakan alat merakit dengan sumber daya listrik maupun api karena akan memperbesar kemungkinan cacat produksi.

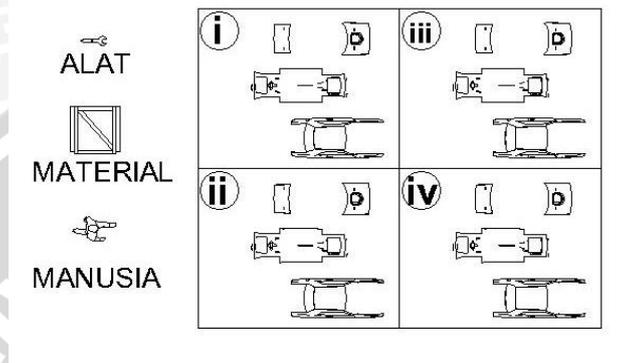
Rakitan elemen dikategorikan menjadi dua, yakni sub-elemen rakit dan elemen rakit yang berurutan pengerjaannya. Elemen hasil proses *bonding* sebelumnya dilimpahkan ke bagian perakitan utama pesawat terbang yang umumnya berbeda bangunan ataupun lokasi seperti Airbus dan Boeing. Selama proses perakitan terdapat beberapa pilihan alur produksi yakni *Fixed or position, process or fuctional, line or product*, dan *combination*. Alur produksi erat kaitannya dengan keefektifan serta efisiensi dalam satu rangkaian produksi. Pemilihan alur produksi juga mempengaruhi besaran bangunan dan model penataan ruang yang berbeda.

Selama perakitan pesawat terbang pekerjaan di hanggar diawasi langsung oleh *Quantity Surveyor* dan bagian *Quality Control*. Dalam penentuan kebutuhan besaran wadah perakitan harus diperhitungkan perkiraan besaran barang yang dirakit dan lamanya waktu Perakitan. Keberlangsungan perakitan sebuah jenis pesawat bisa dalam jangka waktu minggu, bulan, hingga bertahun-tahun tergantung dari kebijaksanaan perusahaan. Dalam kegiatan industri terdapat beberapa jenis klasifikasi menurut Singh (2006) dengan konsekuensi masing-masing penerapannya.

#### 1) *Fixed or position layout*

Tampilan tempat kerja ini juga bisa disebut dengan *project layout*, pada jenis tampilan ini sebagian besar elemen perakitan ataupun materialnya berada pada posisi yang ditetapkan. Aksesoris, material utama, mesin, kelengkapan, alat yang dibutuhkan, dan

pekerja diletakkan pada situs kerja yang tetap. Oleh karena itu letak perakitan utama, perakitan komponen, dan material tidak terganggu hingga produk siap diberikankan. Tata letak ini tepat disaat satu atau beberapa bagian yang diproduksi dengan mesin sederhana. Tata letak ini umumnya diadopsi oleh pabrik dengan produk barang dimensi besar dengan kuantitas kecil. Beberapa pengadopsi tata letak ini adalah industri perkapalan, pesawat terbang, boiler, reaktor, dll.



Gambar 2. 11 *Fixed or position layout* dalam perakitan mobil, (n) stasiun kerja

Kelebihan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

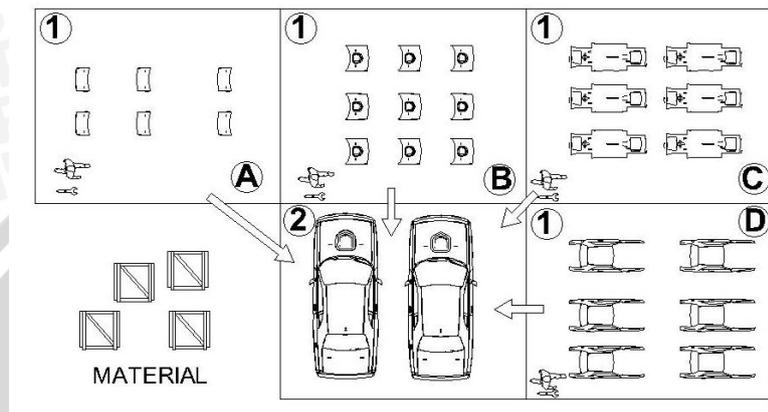
1. Tata letak sangat fleksibel untuk jenis produk yang memiliki permintaan tak teratur karena jenis produk dan proses yang terkait dapat dengan mudah diubah tanpa perubahan tata letak.
2. Pergerakan minimal manusia, material, dan perkakas selama proses manufaktur.
3. Material yang dibutuhkan berkurang secara drastis.
4. Operator yang terampil diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan pada satu titik dan bertanggungjawab untuk kualitas tetap pada seseorang atau kru perakitan
5. Setiap personil dari tim manufaktur bertanggung jawab untuk kualitas kerja dalam pembuatan produk.

Kekurangan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

1. Biaya material handling sangat tinggi.
2. Buruh dan peralatan sulit untuk dimanfaatkan sepenuhnya.
3. Terbatas pada barang-barang besar saja.

## 2) *Process or functional layout*

Pada tata letak ini susunan mesin-mesin yang sama, fasilitas produksi, dan aktivitas manufaktur dikelompokkan bersama berdasarkan fungsinya. Peralatan mesin-mesin sejenis di gunakan selalu pada tempat yang sama, biasanya tata letak ini disarankan kepada industri yang berdasarkan *job order*. Tata letak ini tidak perlu dirubah setiap saat ketika terjadi perubahan produk industri.



Keterangan: 1 dan 2 urutan pekerjaan  
A, B, C, dan D stasiun kerja elemen barang

Gambar 2. 12 *Process or functional layout* dalam perakitan mobil

Kelebihan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

1. Adanya fleksibilitas yang lebih mengenai pengalokasian kerja untuk peralatan dan pekerja.
2. Adanya pemanfaatan peralatan yang lebih maksimal.
3. Penggunaan jumlah mesin yang relatif lebih sedikit sehingga mengurangi modal yang dibutuhkan.
4. Adanya peningkatan kualitas, karena pengawas dan pekerja terlibat dalam satu jenis mesin operasi.
5. Variasi pekerjaan yang berbeda membuat pekerja lebih penasaran dan tertarik
6. Sekumpulan pekerja dalam satu bagian tidak terpengaruh oleh bagian lainnya.

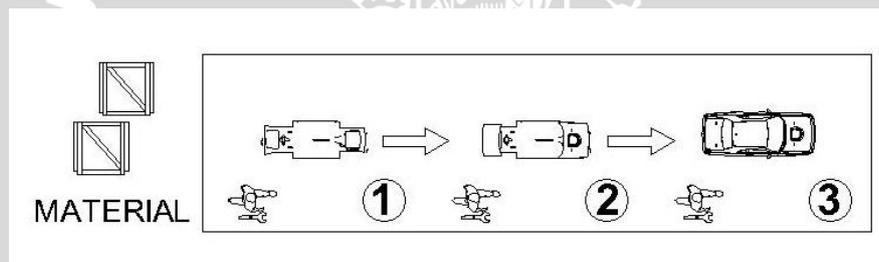
Kekurangan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

1. Tata letak ini membutuhkan lebih banyak ruang dibandingkan dengan *line or product layout* dalam jumlah produksi yang sama.
2. Kontrol produksi menjadi relatif lebih sulit.
3. Bahan baku bergerak menyebabkan peningkatan material handling dan biayanya.
4. Membutuhkan koordinasi dan inspeksi yang lebih efisien.

5. Lebih banyak material dalam proses antrian operasi/ produksi.
6. Membutuhkan persediaan dalam jumlah besar.
7. Penyelesaian produk yang sama membutuhkan waktu yang lebih lama.

### 3) *Line or product layout*

Pola letak ini mengisyaratkan bahwa berbagai operasi terhadap bahan baku dilakukan secara berurutan dan mesin diletakkan sepanjang lintasan aliran produksi. Mesin disusun dalam rangkaian urut yang di tiap mesinnya disuplai bahan baku dan kelengkapan yang dibutuhkan bagian tersebut. Bahan baku mulai dari satu ujung lintasan produksi dan bergerak dari satu mesin ke mesin berikutnya secara berurutan. Dengan kondisi mengalir dalam satu lintasan maka pola ini menguntungkan bila diadopsi oleh industri dengan permintaan yang berkelanjutan. Tata letak ini bisa digunakan dalam produksi massal dan mampu mengurangi timbulnya material handling.



Keterangan: 1 dan 2 urutan pekerjaan

Gambar 2. 13 *Line or product layout* dalam perakitan mobil

Kelebihan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

1. Pola alur kerja mengalir dan terus menerus.
2. Memerlukan pekerja kurang terampil
3. Membantu dalam mengurangi persediaan.
4. Waktu produksi berkurang dalam tata letak ini.
5. Koordinasi lebih baik, perencanaan produksi sederhana dan kontrol dicapai dalam tata letak ini.
6. Untuk produksi dalam jumlah sama dapat mengurangi kebutuhan ruang.
7. Waktu produksi secara keseluruhan berkurang.
8. Menciptakan material handling otomatis, pengurangan gerak material yang mengarah ke minimalisir biaya.

Kekurangan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

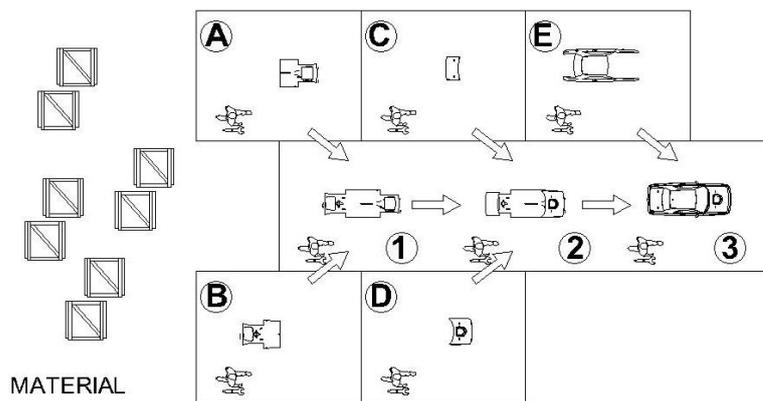
1. Sangat sulit untuk meningkatkan produksi melampaui kapasitas jalur produksi.

2. Seorang pengawas tunggal harus mengawasi banyak mesin, inspeksi menjadi lebih sukar.
3. Tata letak kurang fleksibel ketika terjadi perubahan produk.
4. Tingkat atau laju produksi tergantung pada tingkat *output* mesin paling lambat dan oleh karena itu mengarah ke pembuangan waktu yang berlebihan untuk mesin lainnya jika jalur produksi tidak memadai atau seimbang.
5. Membutuhkan alat atau mesin cadangan yang masing-masingnya harus dipasang sebagai langkah antisipasi.

#### 4) *Combination Layout*

Tata letak ini merupakan kombinasi *process* dan *product layout* menggabungkan keuntungan yang ada dari kedua jenis *layout*. Sebagian besar kegiatan produksi diatur dalam proses tata letak berlajur dan tersebar mencabang sesuai kebutuhan. Saat ini sebagian besar industri manufaktur telah mengadopsi jenis tata letak ini. Tata letak kombinasi memiliki arahan bahwa sekelompok mesin atau peralatan dikelompokkan bersama-sama disebuah bagian, dan seterusnya mengikuti kebutuhan aktifitas di lajur utama. Setiap kelompok mesin atau peralatan yang digunakan untuk melakukan aktivitas-aktivitas serupa untuk menghasilkan sebuah keluarga komponen.

Tata letak ini sangat cocok diaplikasikan pada sebuah aktivitas produksi bertujuan sama dilakukan bersama-sama. Dengan dilakukan bersamaan akan menghindari boros waktu dalam mengubah dari satu aktivitas yang tidak terkait ke yangberikutnya. Tata letak ini juga menghindari duplikasi yang tidak perlu dan mengambil informasi perubahan terkait dengan masalah sehingga mengurangi pemborosan. Pola ini berguna ketika sejumlah *item* diproduksi dalam urutan sama dengan jumlah yang akan diproduksi terbilang besar dan dengan demikian tidak untuk produksi individual tata letak ini memiliki jalur produksi yang berdiri masing-masing.



Keterangan: 1 dan 2 urutan pekerjaan  
A-E stasiun kerja elemen barang

Gambar 2. 14 *Combination layout* dalam perakitan mobil

Kelebihan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

1. Pengurangan biaya dalam durasi pemasangan mesin dan material handling.
2. Penghapusan inventaris berlebih yang tidak dibutuhkan dalam jumlah besar.
3. Penyederhanaan fungsi rencana produksi, dll.

Kekurangan dari proses perakitan ini adalah sebagai berikut :

1. Perubahan tata *layout* memerlukan waktu lama dan mahal.
2. Memasukkan komponen baru membutuhkan perhitungan lebih.
3. Perubahan komponen yang dimasukkan bisa merubah seluruh tatanan produksi.
4. Perubahan jumlah produksi mengubah jumlah mesin yang dibutuhkan.

#### B. Alat Penunjang Perakitan

Dalam perakitan pesawat terbang diperlukan beberapa alat bantu untuk menciptakan barang dengan tingkat akurasi yang tinggi secara aman.



Gambar 2. 15 Ruang penyimpanan suku cadang

Sumber: [www.newtechmachinery](http://www.newtechmachinery)

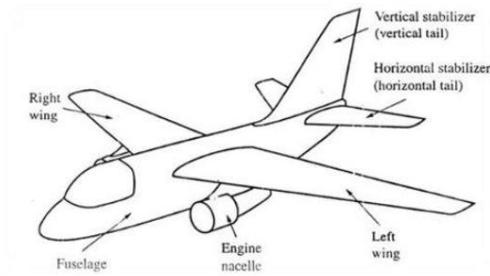


Gambar 2. 16 Lemari penyimpanan suku cadang modern

Sumber: [www.spacesaverva.com/](http://www.spacesaverva.com/)

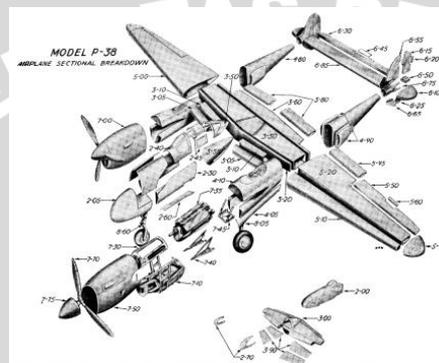
### 1. *Jig*

Salah satu alat bantu yang ada disebut dengan *jig* yang berguna sebagai tempat menaruh elemen dalam bentuk modul. Besaran *jig* tergantung pada ukuran bagian pesawat terbang yang dikerjakan. Semakin besar dimensi pesawat terbang maka semakin besar pula dimensi *jig*-nya. *Jig* tergolong dua jenis dalam penggunaannya, ada *master-jig* dan *jig* biasa, perbedaan didapat dari kegunaannya. Pada kondisi tertentu *jig* yang biasa digunakan produksi harus mengalami pengecekan dan perbaikan berkala, saat itulah *master-jig* digunakan. *Master-jig* umumnya disimpan di gudang karena merupakan rahasia dari sebuah produksi karena menyangkut metode dan perhitungan.



Gambar 2. 17 Gambaran umum pembagian elemen pesawat terbang

Sumber: [www.esatjournals.com](http://www.esatjournals.com)



Gambar 2. 18 Contoh pembagian elemen pesawat terbang

Sumber: [www.esatjournals.com](http://www.esatjournals.com)



Gambar 2. 19 Gambaran tata *layout* jig perakitan

Sumber: [www.thyssenkrupp-system-engineering.com](http://www.thyssenkrupp-system-engineering.com)



Gambar 2. 20 Penggunaan *jig* pada proses produksi

Sumber: siteselection.com

## 2. Riveter

Dalam proses perakitan pesawat terbang alat yang paling dekat dan langsung digenggam oleh perkerja di hanggar adalah *riveter*. Sesuai namanya, alat ini memiliki fungsi pengunci rivet yang merupakan penyambung utama pesawat terbang. Pada sistem sambungan pesawat terbang terdahulu masih digunakan sistem las. Namun dalam perakitan modern tidak diadakan karena dapat menimbulkan retakan dan resiko kebakaran pada hanggar. Dalam hanggar PT. DI *riveter* yang diperbolehkan dalam produksi adalah yang bertenaga tekanan udara.

Penggunaan *riveter* tekanan udara diwajibkan karena mampu mengurangi resiko kebakaran dari potensi korsleting listrik. Tidak semua pekerja dalam hanggar PT. DI boleh memegang *riveter* dikarenakan harus menguasai tekniknya terlebih dahulu. Pada jenjang *skilled worker* baru diperbolehkan menggunakan *riveter*. Penggunaan *riveter* juga harus dalam kondisi aman secara teknis dan psikis manusia yang mengoperasikan.



Gambar 2. 21 Pipa bertekanan udara pada salah satu hanggar PT. DI



Gambar 2. 22 Alat-alat perakitan pesawat terbang

Sumber: [www.aircraftspruce.com](http://www.aircraftspruce.com)

### 3. *Overheadcrane*

Dalam proses perakitan pesawat terbang dibutuhkan alat *material handling* yang mampu mengangkat barang berbobot berat dan dimensi besar. Pada umumnya digunakan forklift dalam perpindahan secara horizontal, namun penggunaan forklift bisa menimbulkan resiko *defect* dalam pemindahan barang berbentuk non-kubistik. Perusahaan produsen pesawat terbang memanfaatkan *crane* gantung sebagai alat bantu pemindahan barang berdimensi besar. Spesifikasi *overheadcrane* beraneka ragam dan bentangnya bisa disesuaikan, namun semakin besar spesifikasi *crane* yang diminta maka akan memperbesar struktur wadah produksi.



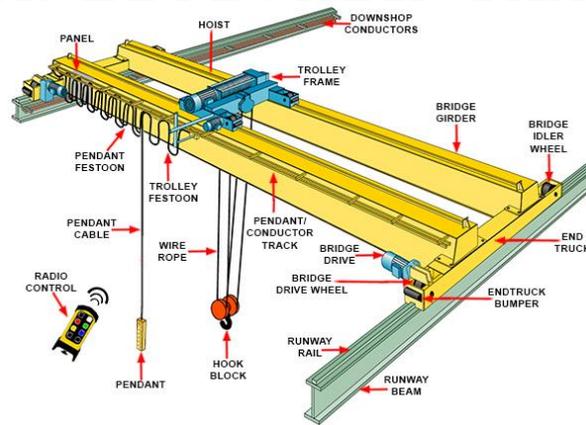
Gambar 2. 23 Penggunaan *overheadcrane*

Sumber: [www.demagcranes.com](http://www.demagcranes.com)



Gambar 2. 24 Contoh rambu peringatan penggunaan *crane*

Sumber: [www.safetysign.com](http://www.safetysign.com)



Gambar 2. 25 Bagian-bagian *overheadcrane*

Sumber: [thietbicautuc.com.vn](http://thietbicautuc.com.vn)

#### 4. P3K dan rambu peringatan

Pada struktur organisasi kerja hanggarnya PT. Dirgantara Indonesia meletakkan bidang Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup sejajar dengan wakil manager. Peletakan ini didasari oleh kebutuhan lingkungan kerja yang sehat dan selamat bagi manusia yang bekerja serta aman dan efisien bagi alat maupun barang produksi. Fungsi K3LH secara umum sendiri diatur dalam berbagai keputusan menteri dan undang-undang. Fokus dari K3LH adalah kesehatan, keamanan dan keberadaan utilitas, serta rambu-rambu peringatan dalam aktivitas produksi.



Gambar 2. 26 Rambu peringatan sebelum memasuki tempat produksi

Sumber: [www.bcd-urbex.com](http://www.bcd-urbex.com)



Gambar 2. 27 Gambaran umum ruang kesehatan

Sumber: [ukfireextinguisheronline.com](http://ukfireextinguisheronline.com)

### C. Tinjauan Umum Hanggar

Dalam penentuan fasilitas industri pesawat terbang dibutuhkan sebuah wadah yang mampu menampung pesawat secara utuh. Dalam beberapa dekade ini pesawat terbang sendiri telah berkembang cukup pesat mulai dari alat gerak hingga dimensi. Namun yang sangat ambil peran dalam fasilitas industri perakitan pesawat terbang adalah dimensi pesawat terbang. Dalam artikel Erect a Tube .inc, disebutkan bahwa pertama kali yang dilakukan dalam mendesain hanggar adalah menentukan pesawat terbang terbesar yang dapat dimasukkan ke dalamnya.

Dalam perkembangannya dimensi pesawat dunia telah mengalami pelebaran pada wingspan, panjang dan tinggi. Terutama pesawat sipil perubahan ini diakibatkan oleh melonjaknya penduduk dunia yang harus terlayani oleh sebuah maskapai. Sehingga dimensi pesawat jelas harus menjadi perhatian utama bagi pemilik hanggar. Dimensi hanggar yang ada apabila dalam lingkup industri pesawat terbang juga berarti berapa jumlah pesawat yang muat diproduksi dalam satu waktu. Lingkungan hanggar sendiri harus mampu menampung aktivitas lalu lalang pesawat terbang yang lewat. Lingkungan hanggar yang dirancang termasuk tumbuhan yang dapat berupa pohon dan semak. Dengan mengenali pesawat yang berlalu lalang maka pemilihan tumbuhan mengikuti karakteristik dimensi yang ada.

### D. Dimensi Pesawat Terbang dan Perletakkannya

Hanggar sebagai sebuah tempat dari pesawat terbang dipengaruhi oleh perkembangan bentang pesawat terbang. Sebuah hanggar memiliki kategori dimensi didasari oleh *wingspan* (bentang) produk pesawat yang ada di dunia.

Tabel 2. 1 Klasifikasi hanggar berdasar bentang lebarnya

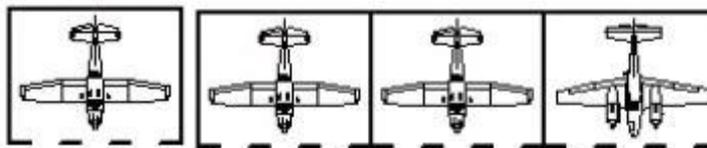
Size	Span (meters)
S	Less than 30 m
M	30–60 m
L	60–90 m
XL	90–120 m
XXL	More than 120 m

Sumber: wikipedia.com

Berdasarkan AMC 145.A.25(b) *Facility requirements* dapat dikatakan bahwa dalam sebuah hanggar bisa terdapat kantor. Kantor tersebut memfasilitasi seluruh tugas staff yang bekerja didalamnya. Sedangkan pada huruf d nomor satu dijelaskan kualitas fasilitas

penyimpanan komponen pesawat terbang. Fasilitas penyimpanan komponen pesawat terbang harus bersih, berventilasi baik, dan bertemperatur kering secara konstan.

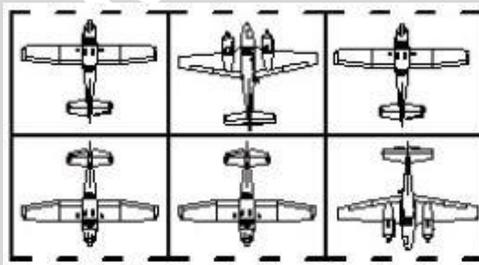
Pada EASA Decision 2003/019/RM dijelaskan bahwa sebuah hanggar harus mendapatkan perlindungan dari unsur cuaca lokal. Selama melewati periode dua belas bulan hanggar pesawat dan komponen struktur hanggar harus terhindar dari hujan, es, salju, angin, debu, serta unsur cuaca lainnya. Hanggar pesawat beserta komponen lantai kerja harus mampu meminimalisir debu. Pesawat sebagai objek utama dalam hanggar harus tersusun dengan rapi beserta aturan *wingtipsnya*.



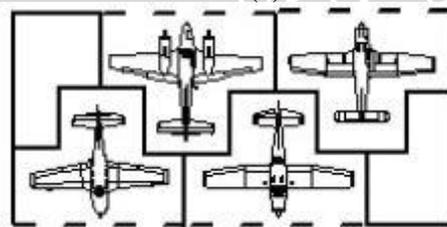
(a)



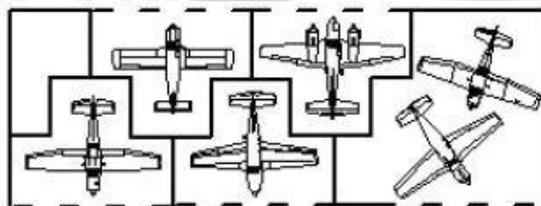
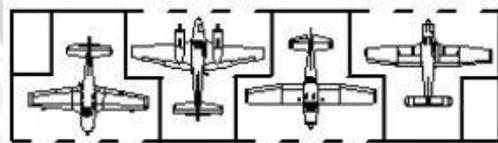
(b)



(c)

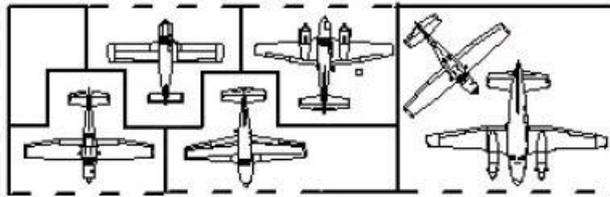


(d)



(e)

- (a) Individual
- (b) Rectangular
- (c) Back to back
- (d) T
- (e) Jetpod
- (f) Clear span end unit



(f)

Gambar 2. 28 Peletakan pesawat terbang

Sumber: Anonim

Pesawat terbang sendiri dalam perkembangannya mengalami perubahan bentuk baik secara alat gerak maupun fisik berupa dimensi dan material. Dapat dilihat secara kasat mata, pesawat terbang awalnya dipopulerkan oleh Wright bersaudara terdiri dari rangka, kain, dan mesin. Pesawat terbang pertama yang diakui oleh dunia tersebut mampu mengangkut maksimal dua orang penumpang. Pada era ini pesawat terbang telah berkembang dapat menampung ratusan orang akibat pesatnya pengembangan teknologi pesawat terbang pada masa perang dunia kedua hingga perang teluk.

#### E. Tinjauan *Lean Manufacturing* dan Penerapannya

Pada dasarnya konsep *lean manufacturing* sendiri di temukan oleh John Krafcik dan dikembangkan perusahaan Toyota. berkembang hingga kini model green lean yakni dengan memperhatikan aspek lingkungan. Namun bagi khalayak masyarakat berpendidikan industri masih banyak yang mengabaikan pengaruh bangunan terhadap jalannya konsep yang dimaksudkan. Padahal pada konsep *lean manufacturing* dituntut untuk menghindari *waste* yang dapat menambah waktu pekerjaan dan biaya operasional. *lean manufacturing* sendiri telah banyak diaplikasikan pada banyak perusahaan industri terkemuka seperti Boeing, Lockheed Martin, Honda, DuPont, dan lain-lain.

Sedangkan dasar pemikiran dari lean thinking adalah berusaha menghilangkan *waste* (pemborosan) di dalam proses, atau dapat juga dikatakan sebagai suatu konsep perampingan atau efisiensi. *Lean thinking* merupakan suatu konsep untuk melakukan lebih dan lebih dengan sedikit *human effort*, sedikit peralatan, sedikit waktu, sedikit ruang, dalam memenuhi apa yang diinginkan konsumen. *Lean* sendiri memiliki beberapa manfaat pada fase produksi sebuah perusahaan, yaitu:

1. Produk yang berkualitas tinggi,
2. Biaya produksi rendah,
3. Semangat kerja tinggi,
4. Area kerja rapi dan bersih,

5. Proses produksi sangat cepat dan efisien,
6. Komunikasi dalam perusahaan berjalan efektif,
7. Jumlah inventori rendah,
8. Karyawan yang selalu meningkatkan ilmu dan skillnya, dan
9. Perusahaan memiliki keuntungan bisnis yang tinggi.

Berdasarkan *lean thinking* maka didapat *Lean Manufacturing* bisa didefinisikan sebagai sebuah pendekatan produksi yang sistematis dalam mengidentifikasi dan mengkategorikan *waste* yang nantinya harus dieliminasi. Eliminasi tadi dilanjutkan dengan perbaikan-perbaikan yang terus-menerus hingga merasa model produksi yang dilakukan sempurna.

*Lean manufacturing* memiliki beberapa tujuan seperti meningkatkan kualitas untuk dapat tetap kompetitif di pasar saat ini. Namun dalam peningkatan kualitas harus mengurangi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan dari awal sampai akhir. Tujuan ini berupaya untuk secara efektif untuk menghilangkan limbah dan menciptakan biaya yang lebih rendah. Selain itu perusahaan harus memproduksi hanya untuk kebutuhan pelanggan sehingga tidak terjadi produksi berlebih. Produksi berlebih sendiri dapat menyebabkan sampah dalam bentuk waktu, ruang, sumberdaya, dan pelayanan. Dalam *lean manufacturing* sendiri dikenal tujuh jenis *waste* yakni, *Correction/Scrap/Defect*, *Over Production*, *Waiting*, *Conveyance*, *Processing*, *Inventory*, dan *Motion*. Oleh Liker (2004) dalam Toyota Way dirangkum permasalahan dimasing-masing *waste*, yaitu:

1. *Correction/ Scrap/ Defect*

Penyebabnya produk cacat antara lain: Kontrol proses yang lemah, Kualitas buruk, Tingkat *inventory* tidak seimbang, perencanaan *maintenance* yang buruk, kurangnya pendidikan/ *training*/ instruksi kerja, desain produk, keinginan konsumen tidak dimengerti.



Gambar 2. 29 Ilustrasi *defect*

Sumber: [imgarcade.com](http://imgarcade.com)

## 2. *Over Production*

Penyebab over produksi antara lain: Logika *just-in-case* (untuk jaga-jaga), penggunaan otomatisasi yang salah, proses setup yang lama, penjadwalan yang salah, ketidakseimbangan beban kerja, rekayasa berlebihan, Inspeksi berlebihan, dll.



Gambar 2. 30 Ilustrasi *over production*

Sumber: erp.cincom.com

## 3. *Waiting*

Penyebab menunggu termasuk: Ketidakseimbangan beban kerja, pemeliharaan yang tidak terencana, waktu setup yang lama, penggunaan otomatisasi yang salah, masalah kualitas yang tidak selesai, penjadwalan yang salah, dll.



Gambar 2. 31 Ilustrasi *waiting*

Sumber: haikudeck.com

## 4. *Conveyance*

Penyebab transportasi tinggi: *Layout* pabrik yang buruk, pemahaman yang buruk terhadap aliran proses produksi, ukuran lot besar, *lead time* besar, dan area penyimpanan yang besar.



Gambar 2. 32 Ilustrasi *conveyance*

Sumber: krabbefroken.deviantart.com

### 5. *Processing*

Penyebabnya antara lain: kompleksitas produk, penjadwalan yang salah, beban kerja tidak seimbang, supplier yang tidak bisa diandalkan, dan kesalahan komunikasi.



Gambar 2. 33 Ilustrasi *processing*

Sumber: [tech.plymouth.ac.uk](http://tech.plymouth.ac.uk)

### 6. *Inventory*

Penyebabnya: Perubahan produk tanpa perubahan proses, logika *just-in-case*, proses berlebihan untuk menutupi *downtime*, Kurang komunikasi.



Gambar 2. 34 Ilustrasi *inventory*

Sumber: [trashisfortossers.com](http://trashisfortossers.com)

### 7. *Motion*

Penyebabnya antara lain: Efektifitas manusia/mesin yang buruk, metode kerja yang tidak konsisten, *layout* fasilitas yang buruk, pemeliharaan dan organisasi tempat kerja yang buruk, gerakan tambahan saat menunggu.



Gambar 2. 35 Ilustrasi *motion*

Sumber: [theguardian.com](http://theguardian.com)

Konsep *Lean Manufacturing* sendiri sering dibanding-bandingkan dengan *Agile Manufacturing* dan sering menjadi pengganti sistem produksi tradisional. Sebuah riset

yang pernah dilakukan pada sebuah pabrik HVAC di Mexico (Goldsby, T. J., et al. ) memberikan sebuah hasil perbandingan pada sistem dan hasil manufakturnya.

Tabel 2. 2 Gambaran perbandingan secara nilai antara *lean* dengan *agile manufacturing*

	Lean	Agile	Leagile
Raw Materials Acquisition	\$ 2,472,386	\$ 2,494,996	\$ 2,491,986
Inbound Transportation	75,000	75,000	75,000
Manufacturing	9,777,002	9,693,485	12,421,226
Interfacility Transportation	75,000	75,000	75,000
Warehousing (space and handling)	456,589	368,780	555,538
Outbound Transportation	124,800	551,866	124,800
Inventory Carrying Cost	75,718	25,029	19,985
<b>Total Cost</b>	<b>\$13,056,495</b>	<b>\$13,284,156</b>	<b>\$15,763,535</b>

Sumber: Goldsby, et al.(2006)

Dalam kaitannya dengan bangunan terdapat perbedaan dalam gambaran desain bangunan dari model produksi tradisional dengan lean manufacturing. Sebagai studi kasus pada hanggar perakitan 4-81 Boeing di Renton, pada awal peresmian 1966 produksi menggunakan pola tradisional. Pada tahun 1999 Boeing mulai mengadopsi Lean Manufacturing dan melakukan redesign pada hanggar ini pada tahun 2005. Dari data sejarah resmi Boeing bahwa dapat dilihat pengalihan fungsi bangunan sisi kanan maupun kiri yang pada awalnya tidak difungsikan menjadi tempat kantor yang juga mampu mengawasi tempat perakitan.

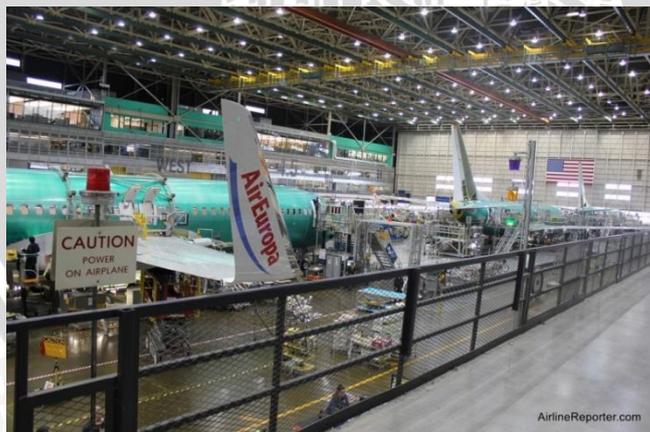
Pada bagian tengah *assembly hall* kini termasuk bagian berfungsi penuh dari tempat perakitan, sebelum dilakukan desain ulang dengan konsep *combination layout*. Bagian tengah hanya berfungsi sebagai jalur sirkulasi pesawat yang selesai dirakit dan kendaraan angkut maupun pekerja. Perubahan konsep dan tata layout yang dilakukan juga memberikan perubahan pada kebutuhan ruang produksi yang semakin mengecil. Perubahan ukuran yang semakin mengecil tadi memberikan gambaran bahwa bangunan dan lingkungan hanggar akan lebih efisien dalam kaidah efektivitas dan efisiensi ruang.



Gambar 2. 36 Hanggar 4-81 tahun 1966  
Sumber: Lombardi, 2012



Gambar 2. 37 Hanggar 4-81 saat ini  
Sumber: Lombardi, 2012



Gambar 2. 38 Hanggar 4-81 dari lantai dua saat ini  
Sumber: Lombardi, 2012





Gambar 2. 39 Hanggar 4-81 dan 4-82 dalam model

Sumber: Lombardi, 2012

## 2.2 Tinjauan Arsitektural

### 2.2.1 Pencapaian dan Sirkulasi

#### A. Sirkulasi vertikal barang

Dalam *handling material* secara vertikal dibutuhkan alat bantu, pada zaman Romawi dahulu orang menggunakan katrol untuk memindahkan barang dari bawah keatas. Pada 1852 William Otis memperkenalkan lift bagi manusia untuk transportasi vertikal dalam gedung yang pada akhirnya digunakan didalam kapal laut juga. Pada era ini lift dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan penggerakannya, yakni lift bermotor dan lift hydraulic . Perkembangan serupa juga sejalan dengan dimunculkannya lift barang dengan sistem serupa dan mengangkut beban yang lebih berat.

Dijelaskan Juwana(2005:60) beberapa alternatif posisi ruang lift berdasarkan jumlah lift dan kondisi bentuk bangunan. Dijelaskan lebih lanjut bahwa maksimal sederet lift maksimal berjumlah empat buah. Dalam kegiatan produksi berat lift yang paling dibutuhkan adalah lift barang sebagai pengganti forklift maupun *crane* gantung. Penggunaan lift barang untuk barang berdimensi kecil lebih efisien secara pengoperasian dibanding *crane* gantung serta lebih meminimalisir penambahan jenis forklift yang berbeda-beda. Penggunaan lift barang juga lebih menghemat luasan bangunan dibandingkan penggunaan *conveyor*.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. 40 Alat handling vertikal, overhead crane (a), conveyor (b), lift barang (c), contoh palikasi liftbarang (d)

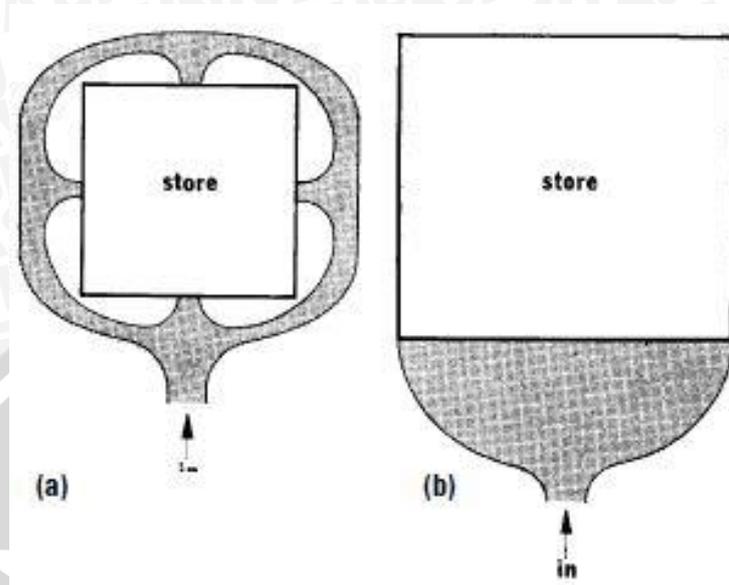
Sumber: [www.demagcranes.com](http://www.demagcranes.com), [conveyorbeltsystems.net](http://conveyorbeltsystems.net), [www.instrumentindustri.com](http://www.instrumentindustri.com), [kot-crane.com](http://kot-crane.com)

## B. Sirkulasi barang horizontal dan distribusi penyimpanan

Pada bangunan industri sirkulasi memiliki peran vital dalam distribusi keluar masuknya barang seperti halnya distribusi darah pada jantung. Dalam posisinya, distribusi erat hubungannya dengan proses penyimpanan barang. Pada umumnya barang yang dibawa oleh alat transportasi akan didata terlebih dahulu. Apabila memenuhi kondisi barang yang diinginkan maka barang diterima dan dimasukkan tempat penyimpanan lalu didata ulang.

Oleh Drury (2003) posisi aktivitas bongkar muat (Loading) pada bangunan dikategorikan menjadi dua jenis, *bays at node points* dan *single long bay*. Pada konsep *bays at node points*, barang dikirimkan dekat dengan proses mechanical handling. Konsep posisi loading ini dinilai kurang fleksibel dan membutuhkan keliling yang luas dengan ruang putar kendaraannya juga. Sedangkan dikonsep *single long bay* dinilai lebih fleksibel dalam permasalahan handling dan kendaraan beroperasi lebih cepat. Pada konsep ini hanya membutuhkan perluasan pada titik loading dock bay. Dijelaskan juga bahwa arus

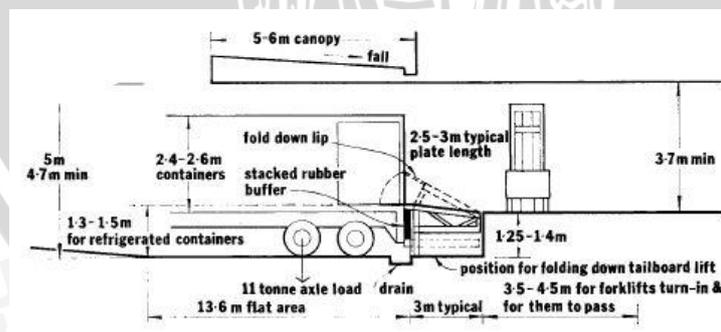
kendaraan yang baik juga memperhitungkan kondisi puncak dan jenis kendaraan yang digunakan. Secara khusus jumlah tempat bongkar muat bergantung pada jenis barang, jenis kendaraan, arus kendaraan, perkembangan kedepan produksi, dan kebutuhan klien.



Gambar 2. 41 *bays at node points*(a)dan *single long bay*(b)

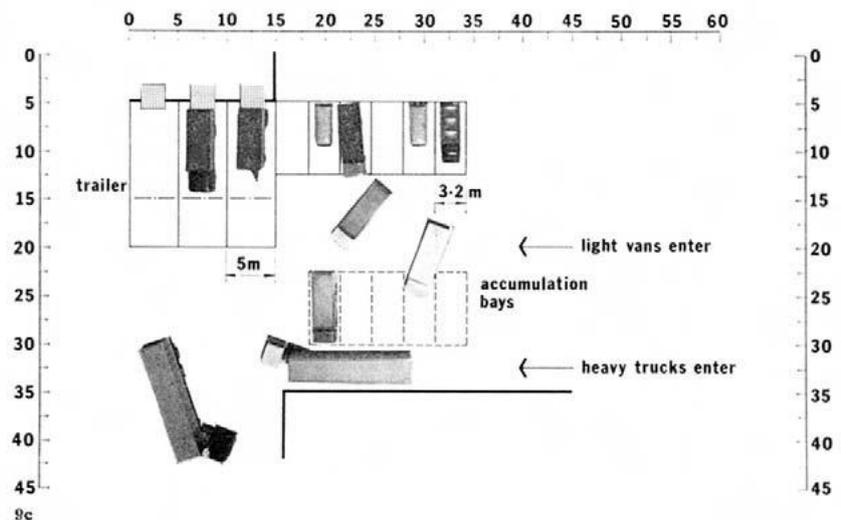
Sumber: Drury & Falconer (2003)

Dalam desain *loading dock*, disarankan untuk memberi jarak 4,5-5 meter antar titik bongkar muat. Umumnya tempat bongkar muat diberi kanopi selebar 4,5-6 meter dan disarankan menggunakan kanopi transparan. Ketinggian ruang bongkar muat barang 4,7 meter atau setidaknya 2,7 meter, tergantung pada jenis barangnya. Ketinggian lantai *loading dock* dibagi menjadi dua jenis, yaitu dinaikkan dari level tanah dan diturunkan dari level tanah.



Gambar 2. 42 *loading dock* yang dinaikkan permukaannya

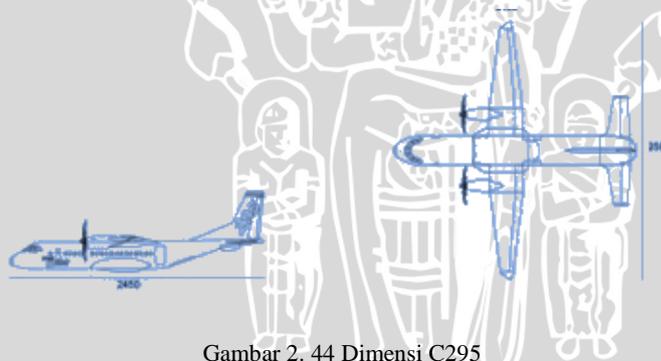
Sumber: Drury & Falconer (2003)



Gambar 2. 43 Tata sirkulasi kendaraan di area *loading dock*

Sumber: Drury & Falconer (2003)

Dalam kaitan pencapaian dan sirkulasi pada bangunan hanggar perakitan pesawat terbang amat perlu diperhatikan ukuran barang produksi yang ada. Perancangan yang benar akan menambah peran infrastruktur dalam menjaga keutuhan kualitas barang produksi yang ada. Barang produksi dalam kajian studi ini adalah C-295 yang memiliki dimensi 25,81 meter lebarnya dan 24,5 meter panjangnya.



Gambar 2. 44 Dimensi C295

Sumber: [www.the-blueprints.com](http://www.the-blueprints.com)

### 2.2.2 Struktur Bentang Lebar

Struktur pada umumnya dibagi menjadi tiga, yakni struktur bagian atas, bagian tengah, dan bagian bawah. Pada kasus bangunan berbentuk lebar, struktur banyak dipengaruhi oleh beban yang ditahan pada bentangan bebas. Bentangan bebas yang dimaksud adalah pada struktur atas, struktur atas sendiri berupa atap bangunan. Bentuk atap ditentukan dari aktivitas yang diwadahi pada bangunan, bisa berupa tertutup, memiliki *void*, atau berpenutup transparan. Penentuan atap juga memberi kesan estetika sendiri dari bangunan, seperti halnya rambut kepala pada manusia.

Pada kasus struktur bentang lebar sebuah hanggar dapat digunakan sistem struktur Engel (1971) yang dirangkum menjadi lima kategori utama, empat merupakan kategori bentang panjang atau lebar. Jenis pertama yaitu *form-active structure system* terdiri dari sistem kabel, sistem tenda, sistem tenda, sistem tekanan (pneumatik), dan sistem lengkung. Pada sistem ini memiliki kecenderungan massa berbentuk lengkung pada atapnya. Fasade bangunan bisa dibentuk oleh kulit tambahan dengan bantuan kabel ataupun penyangga. Sistem ini dimainkan oleh kabel-kabel suspensi yang menjadi penyalur tekanan dan tegangan.



Gambar 2. 45 Penerapan struktur tenda  
Sumber: <http://people.cs.nctu.edu.tw>



Gambar 2. 46 Penerapan struktur tenda sebagai hanggar C-130  
Sumber: <http://allsitestructures.com/>

Pada sistem kedua yaitu *Vector-active structure system* terdiri atas bagian-bagian konstruksi tekan dan tarik. Sistem ini tersusun dengan suatu pola yang dipersatukan dalam sambungan sendi (*hinged joint*). Sistem ini membentuk mekanisme penyaluran gaya dan pemindahan beban pada jarak yang besar tanpa pendukung di tengah. Sistem ini terdiri dari bentukan segitiga yang elemen-elemennya berupa garis lurus yang disusun menjadi segitiga-segitiga.



Gambar 2. 47 Penerapan struktur *frame*  
Sumber: [www.beerandassociates.com](http://www.beerandassociates.com)

Sistem ini menerapkan sudut terbaik yang berbentuk  $45^{\circ}$ – $60^{\circ}$  terhadap arah gaya, yang dapat menyalurkan gaya dengan efektif pada gaya-gaya bervektor kecil. Mekanisme sistem ini tidak hanya untuk system rangka (*truss*), tetapi segala bentuk yang menyalurkan gaya sehingga dapat memberikan ruang terbuka lebar dibawahnya. Sistem ini dapat menyalurkan gaya-gaya dalam arah bidang melengkung maupun 3 dimensi. Jenis-jenis yang termasuk dalam kategori ini adalah sistem truss datar, *truss* lengkung, dan *truss* ruang.

Sistem ketiga merupakan sistem yang kaku, padat, dan terdiri dari elemen-elemen linier padat yang dalam mengarahkan balik gaya karena pengaruh gaya melintang. Elemen bentuk lurus jika didukung dengan kekuatan material dapat menciptakan struktur yang fungsional. Sistem struktur yang termasuk pada kategori ini terdiri dari sistem balok, sistem rangka, dan sistem *grid* balok dan plat. Pada sistem balok struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal di atas elemen kaku vertikal.

Elemen horizontal (balok) memikul beban yang bekerja secara transversal dari panjangnya dan menyalurkan beban tersebut ke elemen vertikal (kolom) yang menumpunya. Kolom dibebani secara aksial oleh balok, dan akan menyalurkan beban tersebut ke tanah. Balok akan melentur sebagai kibat dari beban yang bekerja secara transversal, sehingga balok sering disebut memikul beban secara melentur. Kolom tidak melentur ataupun melendut karena pada umumnya mengalami gaya aksial saja. Pada

umumnya balok menerus merupakan struktur yang lebih menguntungkan dibanding balok bentangan tunggal di atas dua tumpuan sederhana.



Gambar 2. 48 Penerapan struktur balok

Sumber: [www.metlspan.com](http://www.metlspan.com)

Sistem struktur rangka adalah sistem struktur yang terdiri dari batang-batang yang panjangnya jauh lebih besar dibandingkan dengan ukuran penampangnya. Bentuk konstruksi rangka adalah perwujudan dari pertentangan antara gaya tarik bumi dan kekokohan. Saat ini konstruksi rangka yang modern umumnya adalah hasil penggunaan baja dan beton secara rasional dalam bangunan. Rangka terdiri atas komposisi dari unsur vertikal serta horizontal yaitu kolom-kolom dan balok-balok. Unsur vertikal, berfungsi sebagai penyalur beban dan gaya menuju tanah, sedangkan balok sebagai unsur horizontal berfungsi sebagai pemegang dan media pembagian lentur. Kebutuhan terhadap lantai, dinding dan sebagainya untuk melengkapi kebutuhan bangunan untuk hidup manusia, dapat diletakkan dan ditempelkan pada kedua elemen rangka bangunan.

Struktur balok *grid* terdiri atas balok-balok yang saling bersilangan, dengan jarak yang relatif rapat, yang menumpu pelat atas yang tipis. Sistem ini dimaksudkan untuk mengurangi berat sendiri pelat, sehingga lendutan dari pelat yang besar dapat dikurangi. Sistem ini dinilai efisien untuk bentangan besar dan juga dapat didesain sesuai kebutuhan. Setiap balok akan memikul setengah dari beban total dan meneruskan ke tumpuan. Apabila balok-balok tersebut tidak identik maka bagian terbesar dari beban akan dipikul oleh balok yang lebih kaku. Pada sistem plat-nya dibedakan menjadi dua jenis yakni plat searah dan dua arah.

Kategori sistem struktur bentang lebar yang terakhir adalah *surface-active structure system* yang dalam arsitektur merupakan permainan geometri. Pada kategori ini bentuk struktur berupa lipatan dari bentuk-bentuk dasar. Lipatan bentuk dasar bisa dalam bentuk proyeksi prisma ataupun limasan. Sistem yang termasuk adalah sistem lipatan prisma, lipatan piramid, cangkang lengkung tunggal, cangkang putar, dan cangkang anticlastic.

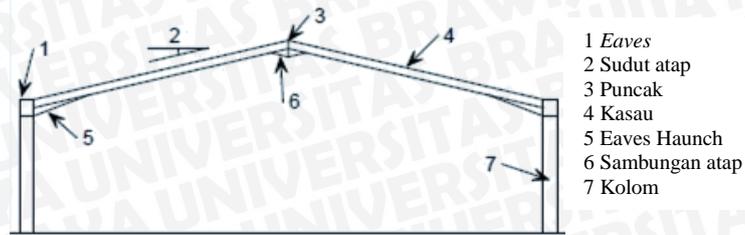


Gambar 2. 49 Penerapan struktur *folding*

Sumber: <http://2.bp.blogspot.com/>

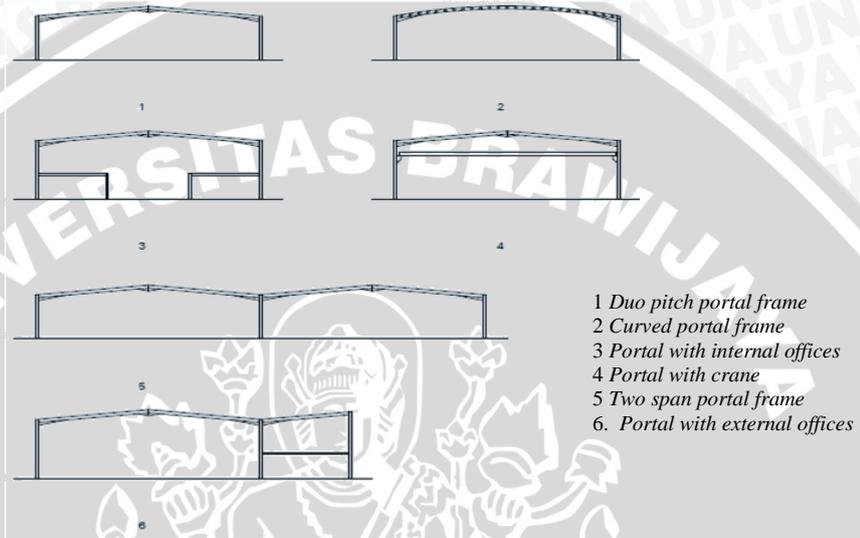
Struktur bidang lipat merupakan bentuk struktur yang memiliki kekakuan satu arah yang diperbesar dengan menghilangkan permukaan planar sama sekali dan membuat deformasi besar pada pelat sehingga tinggi struktural pelat semakin besar. Karakteristik suatu struktur bidang lipat adalah masing-masing elemen pelat berukuran relatif rata (merupakan sederetan elemen tipis yang saling dihubungkan sepanjang tepinya). Struktur bidang lipat akan mengusahakan sebanyak mungkin material terletak jauh dari bidang tengah struktur. Elemen pelat lipat ini mempunyai kapasitas pikul beban besar hanya jika tekuk lateral daerah yang tertekan dapat dicegah sehingga daerah tekan pada setiap pelat akan selalu dapat dikekang plat sebelahnya.

Pemilihan struktur tubuh bangunan dalam pembentukan ruang berbentang lebar umumnya digunakan kombinasi rangka baja. Sebuah bangunan baja untuk penggunaan komersial, industri atau pertanian biasanya bertingkat satu, rentang tunggal atau bangunan multi-span. Baik panjang bangunan dan lebar bangunan yang jauh lebih besar dari ketinggian bangunan. Bangunan Fungsi termasuk gudang, pusat distribusi, gerai ritel, pameran ruang, ruang olahraga dan berbagai tempat komersial. Setiap jenis bangunan memiliki persyaratan sendiri yang spesifik berkaitan dengan internal ruang, meskipun sebagian besar membutuhkan ruang yang baik sepenuhnya jelas dari struktur anggota, atau memiliki kolom internal yang dikurangi seminimal mungkin. Untuk manufaktur dan gudang struktur, ekonomi dan fleksibilitas sering memiliki pengaruh yang lebih besar daripada tampilan bangunan. Untuk bangunan lainnya, penampilan struktur lebih penting dan besi palsu dapat digunakan untuk membentuk arsitektur struktur yang menarik.



Gambar 2. 50 Rangkaian struktur baja sederhana

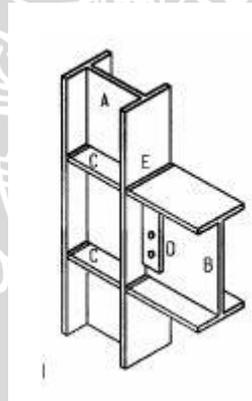
Sumber: Anonim



Gambar 2. 51 Beberapa rekayasa bentuk umum dari rangkaian baja sederhana

Sumber: Anonim

- A Kolom baja WF
- B Balok baja WF
- C Stiffener plates
- D Plat baja
- E Las

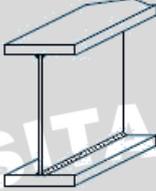
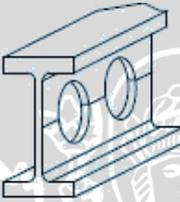
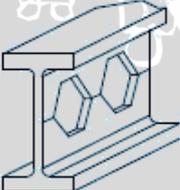


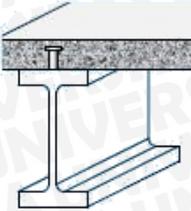
Gambar 2. 52 Sambungan pada baja

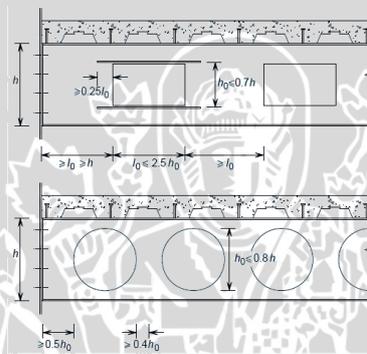
Sumber: Anonim



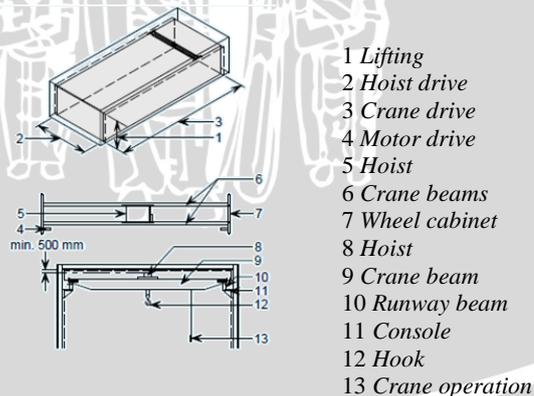
Tabel 2. 3 Profil-profil balok baja

Type	Ilustrasi	Penjelasan
<i>Rolled Profiles</i>		Profil <i>Rolled</i> umumnya digunakan pada bangunan berlantai banyak, panjang dimensi dan kelasnya juga sudah cukup banyak.
Profil sambungan las		Profil yang telah di las dari plat-plat baja mampu memberikan dimensi <i>flanges</i> yang berbeda dalam bentuk mono-simetris.
<i>Celularbeams</i>		Melalui proses <i>oxy-cutting</i> dan pengelasan, <i>celular beam</i> dibentuk dari profil <i>Rolled</i> . Jenis ini merupakan solusi yang sangat efisien untuk bangunan kantor dengan menawarkan beberapa kelebihan. Kelebihannya yaitu meningkatkan inersia dibandingkan profil dasar, memberikan bukaan untuk utilitas dan tampilan arsitektural.
		Jika umumnya memiliki <i>cell</i> lingkaran terdapat jenis bukaan hexagonal

Type	Ilustrasi	Penjelasan
Composite Beams		<p>Saat plat lantai beton ditopang oleh beam akan sangat mudah dalam proses penyambungannya.</p> <p>Direkomendasikan untuk bentang besar hingga 18 atau 20 m, telah banyak beam komposit telah dikembangkan.</p>

Gambar 2. 53 Dimensi profil balok baja *cellular*

Sumber: Anonim

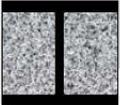
Gambar 2. 54 Bagian-bagian rangkaian struktur baja dengan *overhead crane*

Sumber: Anonim

Ketinggian bangunan berpengaruh pada struktu yang diadopsi bisa berupa bangunan bertingkat atau tidak. Pembebanan akibat ketinggian bangunan tadi menentukan jenis pondasi yang diadopsi oleh bangunan. Faktor ketinggian juga menentukan keselamatan yang dalam industri berarti terdiri dari keselamatan manusia, barang, dan struktur

bangunan itu sendiri. Dalam hal ini keselamatan struktur bangunan baja adalah tergantung pada titik leleh ataupun kekuatan sambungannya. Untuk bangunan yang meninggi peletakan beton atau baja yang diperkuat pada core umumnya diadopsi. Dalam penentuan kolom bangunan berlantai banyak rangka baja umumnya digunakan profil H, yang dominannya mengusung beban axial.

Tabel 2. 4 Profil kolom baja yang umum digunakan

	Steel section	Composite section
H-section		
Circular hollow section		

Sumber: Anonim

Tabel 2. 5 Ukuran kolom yang umumnya digunakan

Number of floors supported by column section	typical column size ( $h$ )
1	150
2 - 4	200
3 - 8	250
5 - 12	300
10 - 40	350

Sumber: Anonim

Pada penentuan sistem struktur lantai terdapat beberapa solusi dalam lantai yang berjarak lebar. Walaupun baja lebih banyak memberikan solusi bagi bentang pendek (6-9 meter) baja juga memberikan beberapa solusi dan keuntungan pada bangunan bentang panjang (12-18 meter). Solusi bentang panjang baja ini sendiri memberikan beberapa keuntungan yaitu bebas kolom, adaptasi terhadap desain bangunan, dan mengurangi jumlah pondasi.

Tabel 2. 6 Solusi pembentukan lantai

Bentuk konstruksi	Solusi jenis
Tingkat rendah, memiliki bentang menengah, tanpa batasan pada kedalaman konstruksi	Downstand beams precast units atau lantai komposit

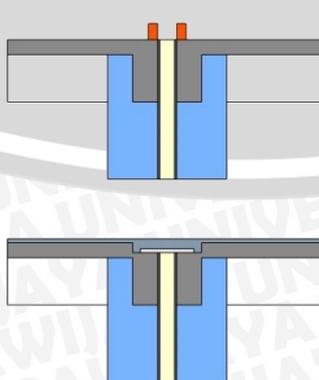
Bentang menengah (<9m) kedalaman konstruksi	Solusi terintegrasi antara precast atau lantai komposit
Tingkat rendah, bentang panjang	<i>Downstand beams</i> pada fasade beton precast (15m) Lantai komposit dengan bentang balok anak baja apabila berbentang 15m
Tingkat menengah dan tingkat tinggi, bentang menengah, tidak ada pembatasan kedalaman konstruksi	<i>Downstand beams</i> , konstruksi komposit
Tingkat menengah dan tinggi, bentang panjang (hingga 18 m) kedalaman konstruksi	Lantai komposit dengan <i>cellular beam</i> bentang panjang kedua

Sumber: Steel in Europe

### 2.2.3 Dilatasi Struktur

Bangunan dengan dimensi tinggi dan berbentang lebar, bangunan berbeda tinggi, bangunan bergeometris lemah oleh Juwana (2005:53) dikategorikan memerlukan dilatasi pada strukturnya. Dilatasi atau pemisahan dilakukan dalam rangka melindungi bangunan dari retakan bahkan mengarah ke keruntuhan struktural. Dalam sistem dilatasi, bangunan dibagi menjadi beberapa bagian dengan perhitungan beban yang ditanggung akan dikenakan pada struktur bangunan terbagi. Utamanya di Indonesia bagian selatan dan timur, sistem dilatasi sangat diperlukan mengingat posisinya berada dalam rangkaian cincin vulkanis rawan gempa bumi. Dilatasi dapat dikategorikan menjadi empat sistem, yaitu sistem dua kolom, balok kantilever, balok gerber, dan konsol.

Tabel 2. 7 Sistem dilatasi kolom

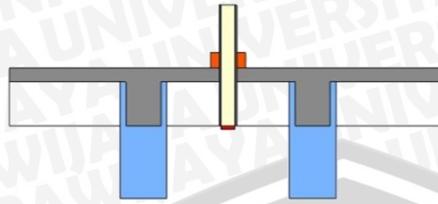
Sistem Dilatasi	Ilustrasi	Keterangan
Dua Kolom		Paling umum, utamanya digunakan bangunan bentuk memanjang.

## Sistem Dilatasi

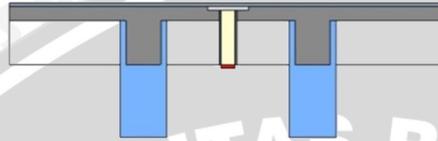
## Ilustrasi

## Keterangan

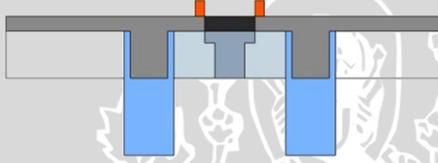
Balok Kantilever



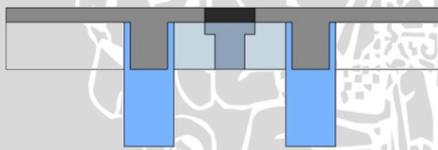
Memiliki batasan panjang, maksimal  $\frac{2}{3}$  bentang antar kolom,



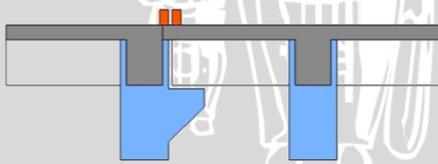
Balok Gerber



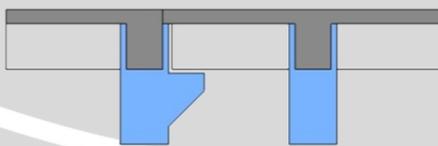
Jarang digunakan, jika mengalami deformasi horizontal cukup besar dikhawatirkan jatuh.



Konsol



Tinggi langit-langit pada bagian dilatasi menjadi lebih rendah, umumnya digunakan pada bangunan dengan konstruksi pra-pabrikasi.



Sumber: Juwana (2005)

## 2.2.4 Bahan dan Material Bangunan

Menurut Gottfried Semper bahan baku yang tersedia sebagai bahan bangunan potensial sebelum tahap pertama pengolahan dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori berikut sesuai dengan sifat mereka. Jenis pertama material dengan sifat fleksibel, tangguh, tahan terhadap fraktur, dan memiliki kekuatan tinggi. Jenis kedua material lembut, bersifat plastik, mampu mengalami penggabungan sehingga bersifat lebih keras. Material jenis ketiga berbentuk linear, elastis, daya tahan tinggi, semisal untuk gaya yang bekerja tegak lurus terhadap panjangnya. Jenis terakhir bersifat padat, tahan terhadap tekanan dan tekukan, cocok untuk pengolahan dan untuk perakitan untuk membentuk sistem yang solid.

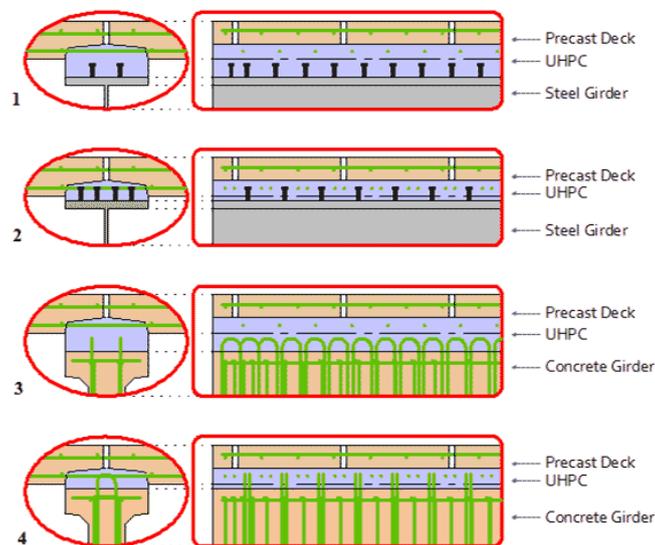
Pada tahap berikutnya material diproses menjadi modul-modul tertentu yang dalam bahasa umumnya adalah bahan untuk membangun. Pada tahap ini dijelaskan oleh Deplazes dibedakan menjadi *masonry* (bebatuan), *concrete* (beton), *timber* (kayu), *steel* (baja), *insulation* (sekat), dan *glass* (kaca). Pada pengaplikasiannya material bangunan dapat mempengaruhi suhu pada bangunan itu sendiri. Perpindahan panas yang terjadi pada luar bangunan di pindah oleh bahan material dengan cara konduksi, material dengan nilai konduktifitas yang tinggi akan sangat mudah menyerap dan menyimpan panas. Berikut adalah beberapa material dengan nilai konduktifitas nya:

Tabel 2. 8 Densitas material

No	Bahan Bangunan	Densitas	K(W/M)
1	Beton	2.400	1,448
2	Beton Ringan	960	0,303
3	Bata Dengan Lapisan Plester	1.760	0,807
4	Plaster Pasir-Semen	1.568	0,533
5	Kaca Lembaran	2.512	1,053
6	Papan Gypsum	880	0,170
7	Kayu Lunak	608	0,125
8	Kayu Keras	702	0,138
9	Kayu Lapis	528	0,148
10	Glasswool	32	0,035
11	Fiberglass	32	0,035
12	Paduan Alumunium	2.672	211
13	Tembaga	8.784	385
14	Baja	7.840	47,6
15	Granit	2.640	2,927
16	Marmar/ Keramik / Terazo/ Mozaik	2.640	1,298

Material bangunan berkembang jauh dari segi bahan dan ukurannya, pada era ini umum digunakan material-material modular yang semakin maju. Kemajuan bahan bangunan ini disertai dengan kelenturan maupun daya tahan material yang ada. Semisal Ultra High Performance Concrete (UHPC) yang melalui pemadatan dengan menggunakan partikel mikro bersandar pada konsep *particle packing*. Pada konsep ini diterapkan bahwa untuk mendapatkan beton yang sekuat-kuatnya, penyusunan partikel dalam campuran harus diatur agar didapatkan rongga yang paling sedikit. Penggunaan *super plasticizer* membuat partikel semen, dengan ukuran sekitar 10 micron, dapat terpadatkan dengan lebih seragam, mengurangi porositas yang biasanya terdapat dalam beton konvensional dan meningkatkan kekuatannya.

Konsep *particle packing* ini dapat ditingkatkan dengan memberikan partikel dengan ukuran yang lebih kecil dari 1 micron, untuk mengisi rongga yang masih tersisa, misalnya dengan *silica fume* atau *metakaolin*. Apabila partikel ini juga bersifat *pozzolanik*, maka peningkatan kekuatan tambahan akan terjadi dengan adanya air kapur bebas dalam campuran beton. Dengan peningkatan kepadatan yang terjadi, porositas dalam beton yang saling terkoneksi akan berkurang dan menyebabkan beton lebih kedap terhadap air dan material perusak lainnya sehingga beton ini menjadi lebih tahan lama.



Gambar 2. 55 Detil lapisan UHPC

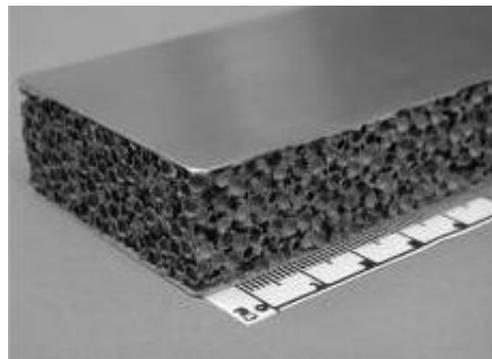
Sumber: Watts.2010



Gambar 2. 56 Contoh pengaplikasian UHPC yang ditawarkan Premier Composite Technology

Sumber: [www.compositestoday.com/](http://www.compositestoday.com/)

Salah satu material pendukung dari berbagai macam sistem struktur yang ada adalah *hollow sphere structure*. Struktur ini berwujud bola berongga selanjutnya juga dapat diaplikasikan sebagai struktur tahan api. Material ini menawarkan pilihan untuk fleksibilitas dalam rancang bentuk geometris yang *non-rigid*. Mengingat geometri bola, struktur bola berongga membanggakan tekanan-tahan dan karakteristik kaku pada material. Material *hollow* dari bola berongga ini 40-70% lebih ringan dari pada *Hollow* biasa. Sebagai kombinasi pada selubung bangunan berbentuk lebar bisa dijadikan referensi yakni *aluminium composite panel*, *ETFE*, maupun kaca.



Gambar 2. 57 Lapisan hollow sphere

Sumber: Watts.2010

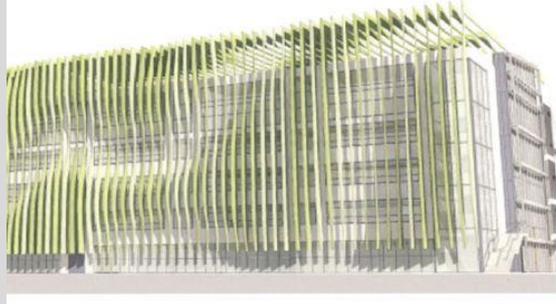
Perkembangan material di masa depan sendiri telah disebutkan beberapa oleh Watts (2010), dalam pembahasan material modern. Termasuk material kaca kedepannya akan muncul konstruksi *folded glassing*. Material *metal solar shading louvre and mesh* akan memperbaiki tampilan bangunan namun dengan tetap memperhatikan kajian garis edar

matahari. Untuk menghadapi fasade yang melengkung atau berkurva matematis, terdapat alternatif *triangular panel*. Beberapa alternatif material masa depan lainnya adalah *moving shading panel*, *precast concrete panels for facades of complex geometry*, *Shingled glazing for facades of complex geometry*, serta lainnya lagi.



Gambar 2. 58 *Folded glassing*

Sumber: Watts.2010



Gambar 2. 59 *Metal solar shading louvre and mesh*

Sumber: Watts.2010



Gambar 2. 60 Shingled glazing dan *precast concrete panels* for facades of complex geometry

Sumber: Watts.2010

## 2.2.5 Arsitektur Bangunan Industri

### A. Regulasi Pemerintah

Bangunan industri pada permen PU No. 29/PRT/M/2006 termasuk pada bangunan kelas delapan. Pada peraturan menteri tersebut didefinisikan sebagai bangunan gedung tempat pemrosesan suatu produksi, perakitan, perubahan, perbaikan, pengepakan, finishing, atau pembersihan barang-barang produksi dalam rangka perdagangan. Jarak bebas (sempadan) samping dan belakang bangunan industri dapat diatur tersendiri. Ketinggian pagar bagi bangunan industri maksimal 2 meter di atas permukaan tanah pekarangan. Pagar harus tembus pandang sedangkan pada bagian 1 meter dari bawah tidak tembus pandang.

Dalam penerapannya, bangunan industri harus memenuhi persyaratan teknis yang dalam regulasi pemerintah Indonesia tertuang pada permen PU No. 29/PRT/M/2006. Persyaratan teknis yang dimaksud terdiri dari persyaratan peruntukan dan intensitas bangunan, arsitektur dan lingkungan, dan keandalan bangunan. Pada tiap persyaratan yang perlu digaris bawahi adalah:

**Tabel 2. 9 Peraturan bangunan gedung Indonesia**

Persyaratan	Umum	Bangunan Industri
Peruntukan dan intensitas	Menjamin bangunan gedung didirikan berdasarkan ketentuan tata ruang dan bangunan pada daerah bersangkutan.	Kesesuaian gedung industri dengan regulasi berupa KDB, GSB, KLB, dan lain sebagainya.
Arsitektur dan lingkungan	Menjamin bangunan didirikan berdasarkan karakteristik (budaya dan tata ruang) lingkungan.	Perancangan bentuk sedemikian rupa dalam rangka memperlancar proses produksi dengan tetap

Persyaratan	Umum	Bangunan Industri
Struktur bangunan	Menjamin terwujudnya bangunan gedung dari kegagalan struktur dan mampu mewadahi aktivitas manusia dengan selamat.	memperhatikan lingkungan sekitar Penggunaan konsep struktur yang berkesesuaian dengan pola produksi dan barang yang dilakukan.
Ketahanan terhadap kebakaran	Menjamin bangunan gedung yang secara struktural stabil selama kebakaran.	Memberikan keamanan barang produksi dan manusia dari bahaya kebakaran berlebih secara struktural.
Sarana jalan masuk dan keluar	Pengaturan sirkulasi menuju dan keluar lingkungan bangunan gedung dengan pertimbangan mobilitas.	Pengaturan sirkulasi keluar masuk barang dan manusia.
Transportasi dalam gedung	Transportasi perpindahan manusia dan barang yang nyaman dan layak pada bangunan gedung.	Handling material dan perpindahan manusia secara horizontal maupun vertikal.
Sistem mitigasi	Tersedianya penanda dalam kondisi darurat yang membahayakan gedung dan pengguna dalam rangka evakuasi	Kemudahan informasi evakuasi bagi pengguna bangunan industri.
Instalasi utilitas kering	Menjamin terpasangnya instalasi listrik, penangkal petir, dan sarana komunikasi	Adanya instalasi listrik, penangkal petir, dan komunikasi dalam mendukung aktivitas produksi.
Instalasi gas atau udara bertekanan	Menjamin adanya instalasi gas ataupun udara bertekanan sesuai fungsi dan aman.	Adanya instalasi gas ataupun udara bertekanan dalam mendukung aktivitas produksi.
Instalasi utilitas basah	Menjamin tersedianya sarana sanitasi termasuk limbah cair.	Adanya instalasi air bersih, kotor, hujan, dan limbah dalam mendukung aktivitas produksi.
Pengondisian udara	Menjamin terpenuhinya kebutuhan udara yang cukup.	Adanya penghawaan dalam bangunan industri dalam memenuhi kenyamanan manusia dan barang dengan mengikuti SNI 03-6572-2001 dengan bukaan minimal 5-10

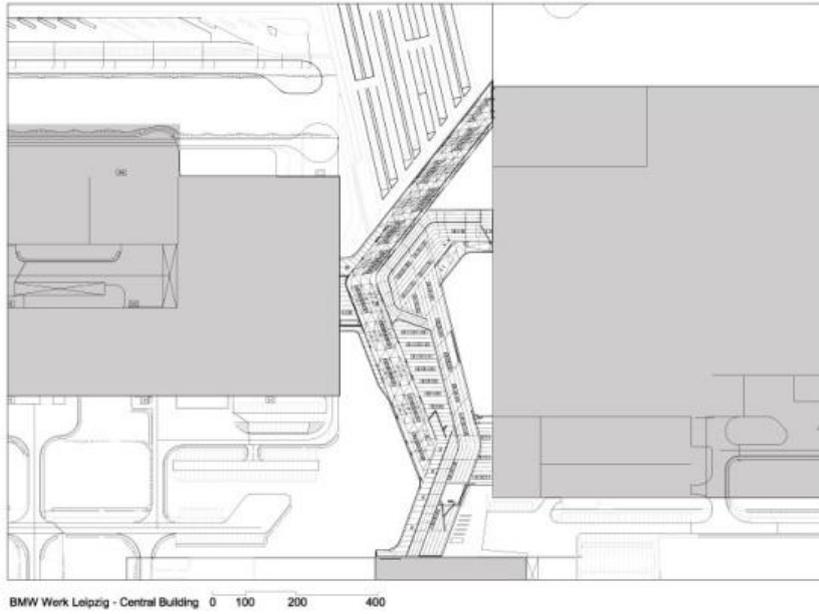
Persyaratan	Umum	Bangunan Industri
Pencahayaan	Menjamin pencahayaan secara cukup dalam terselenggaranya aktivitas pada gedung.	% luas lantai ruangan. Adanya pencahayaan dalam bangunan industri dalam memenuhi kenyamanan beraktivitas mengikuti SNI 03-6575-2001: -R. Produksi 500-1000 lux -Gudang 100 lux -Kantor 350 lux
Kebisingan dan getaran	Menjaga kenyamanan pengguna gedung dan lingkungannya dari keisingan yang timbul.	Pencegahan dampak negatif aktiivitas produksi dalam bentuk kebisingan dan getaran ke lingkungan sekitar.

Sumber: Permen PU No.29/PRT/M/2006

Dalam persyaratan teknis limbah sendiri secara khusus telah diatur pada Kemenkes nomor 1405 tahun. 2002 tentang Persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan Industri. Limbah dibagi menjadi 4 jenis, yaitu Limbah domestik, limbah cair, limbah B3, dan limbah gas. Pada persyaratan pencahayaan, kegiatan industri halus tingkat pencahayaan minimalnya dalah 1500 lux. Bangunan sebagai wadah produksi harus kuat, terpelihara, bersih, dan tidak memungkinkan kecelakaan dan gangguan kesehatan. Lantai terbuat dari bahan yang kuat, kedap air, permukaan rata,dan tidak licin.

#### B. Zaha Hadid Architect

Terlepas dari persyaratan teknis yang ada, bangunan industri tidak boleh terlepas dari langgam arsitektur yang berkembang pada eranya. Secara jenis produk yang dihasilkan berupa pesawat terbang makasebuah industri dikategorikan sebagai industri hilir-berat. Salah satu industri berat dengan gaya arsitektur yang khas adalah BMW central building. Bangunan tersebut berlokasi di Leipzig, Jerman, perancang dari bangunan non-bentang lebar ini adalah Zaha Hadid Architect. Dalam konsepnya Zaha Hadid Architect berupaya memberikan sebuah ruang perantara bagi pekerja kantoran dan bagian produksi melalui *layering* yang mengalir dan interpretasi ruang. Bangunan ini memiliki struktur beton dan berfungsi sebagai kantor dan lintasan mobil BMW yang sedang diproduksi. Produksi yang ditarget adalah 650 BMW seri 3 setiap harinya, aliran barang dilakukan secara *moving line* dengan bantuan konveyor. Kawasan industrinya sendiri yang ada mencakup 2,5 hektar dengan empat unit bangunan.



Gambar 2. 61 Tampilan BMW *central building* di Leipzig, Jerman

Sumber: Gannon.2006



Gambar 2. 62 Pemandangan atas BMW *central building* di Leipzig, Jerman

Sumber: Gannon.2006



Gambar 2. 63 Interior salah satu koridor dalam bangunan

Sumber: Gannon.2006



Gambar 2. 64 Interior BMW *central building* di Leipzig, Jerman

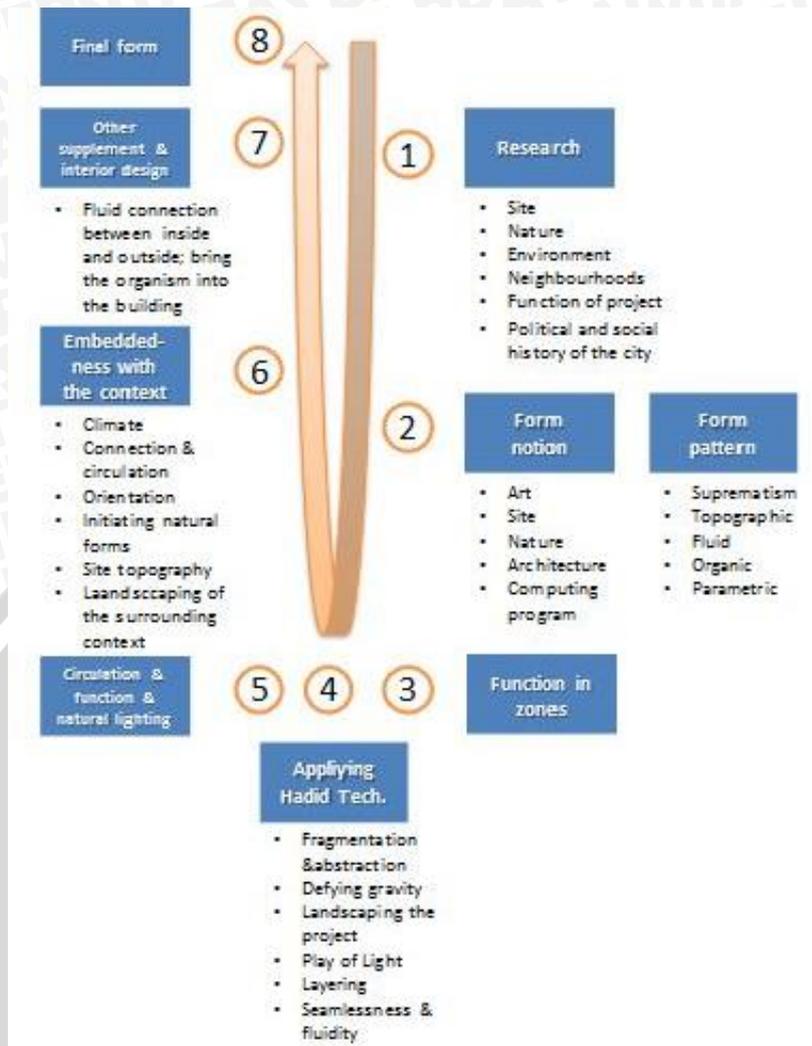
Gambar 2.64 Sumber: Gannon.2006



Gambar 2. 65 Exterior dan fasade BMW *central building* di Leipzig, Jerman

Sumber: Gannon.2006

Dalam penelitian yang sudah ada, sebuah proses desain Zaha Hadid Architect diawali dari mengidentifikasi proyek melalui kajian kondisi awal dari tapak itu sendiri. Kondisi yang dikaji adalah lokasi, alam, lingkungan dalam, lingkungan sekitar, tujuan perancangan, dan konten sosial, politik serta sejarah. Salah satu hasil kajian akan diangkat sebagai ide gagasan yang dikategorikan dalam seni, tapak, alam, arsitektur, dan perhitungan komputer. Ide bentuk dari Zaha Hadid diklasifikasikan menjadi *suprematism*, *topographic*, *fluid*, *organic*, dan *parametric*.



Gambar 2. 66 Diagram Strategi desain Zaha Hadid berdasarkan hasil riset

Sumber: Abdullah, et al. 2013

### 1) Research

Pada tahap ini terdapat enam poin penelitian yang harus dilakukan terkait tahap awal perancangan. Poin-poin tersebut yaitu *site*, *nature*, *environment*, *neighbourhoods*, *function of project*, dan *political and history*. Dari poin yang ada terdapat beberapa yang sebenarnya sudah menjadi satu atau tidak diperlukan pembahasan baru. Pembahasan yang dapat digabungkan yaitu *nature*, *environment*, dan *function of the project*. Tiga poin tidak bisa dibahas terpisah karena saling berkaitan sehingga dapat dijadikan satu bahasan yaitu lingkungan. Pembahasan *site* serta *function of the project* dapat dibahas menjadi satu karena terdapat keterkaitan fungsi dari perancangan dengan lokasi.

## 2) Form

Setelah kajian yang telah dilakukan maka ditentukan tujuan dari perancangan yang diwujudkan dalam gagasan. Gagasan dari Zaha Hadid hasil temuan Abdalwahid (2013) dibagi menjadi dua yaitu gagasan ide dan gagasan bentuk. Gagasan ide dapat menjadi tema dari bangunan yang akan dirancang, sedangkan gagasan bentuk bisa menjadi gagasan ruang. Kesimpulan gagasan yang dipilih nantinya dapat dicapai melalui teknik-teknik Zaha Hadid.

## 3) Zonafikasi fungsi

Zonafikasi fungsi merupakan penataan ruang dalam dan luar bangunan secara diagramatik dengan beberapa alternatif. Sintesa dilakukan berdasarkan acuan dari gagasan yang ada. Zonafikasi ruangan yang ditetapkan akan dikembangkan ke tahap selanjutnya. Berbeda dari yang dihasilkan dari kajian terdahulu, tahap ini dilakukan setelah pengaplikasian teknik Zaha Hadid. Berdasarkan perancangan BMW Central Building, dalam proses ini dihasilkan *block plan* yang diolah pada tahap selanjutnya.

## 4) Pengaplikasian Teknik Zaha Hadid

Dalam pencapaian gagasan ide serta ide bentuk dapat memilih satu atau lebih teknik yang ada. Teknik yang digunakan bertujuan untuk membentuk masa bangunan maupun ruang dalam yang dimaksud. Pemilihan teknik yang ada harus tetap memperhatikan hasil kajian, fungsi perancangan, serta tema yang diambil.

## 5) Penataan dan Konsep

Terdapat tiga hal pada langkah ini yang harus di sintesa yakni fungsi, sirkulasi, dan pencahayaan alami atau *daylighting*. Setelah dilakukan zonafikasi fungsi dan ditetapkan *block plan* maka dijadikan denah ruangan. Setiap ruangan secara fungsi ditata serta dibentuk konsep sesuai dengan ide awal proses. Denah yang sudah ada dilengkapi dengan sirkulasi berdasarkan analisa serta sintesa berdasarkan ide. Pencahayaan alami ditata beracuan pada fungsi ruangan namun dengan kaidah arsitektural.

## 6) Tautan lingkungan

Pada tahap ini bangunan akan mengalami perubahan-perubahan karena adaptasi terhadap lingkungan tapak. Kesesuaian terhadap lingkungan tapak meliputi hubungan dan sirkulasi, orientasi, kondisi fisik tapak, dan lingkungan sekitarnya. Hasil dari adaptasi terhadap iklim adalah pemanfaatan atau penanganan bangunan secara pasif terhadap iklim yang ada. Hasil dari sintesa

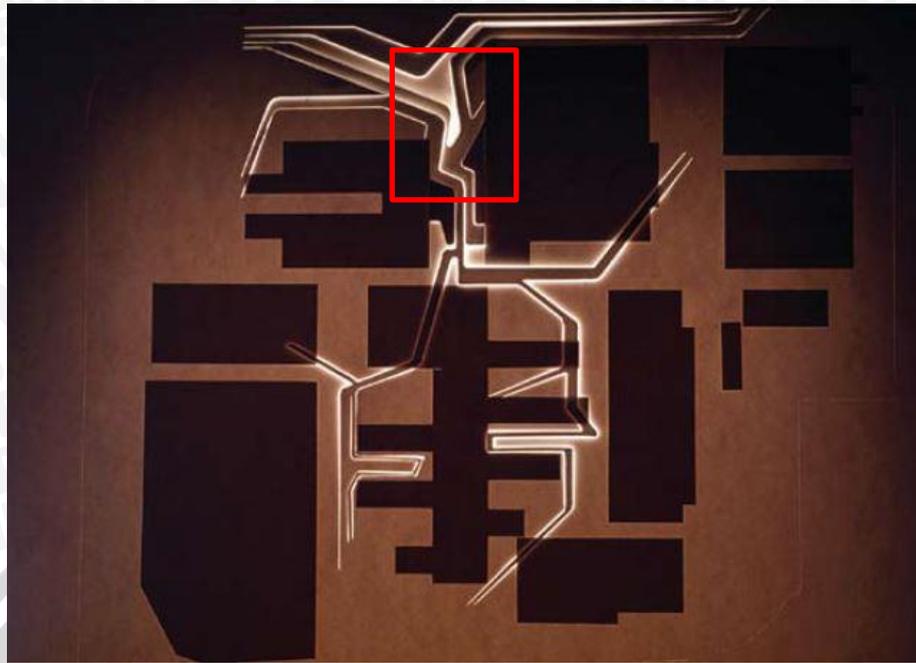
orientasi tapak akan menghasilkan tanggapan jenis bukaan cahaya, visual, penghawaan, dan *shading device*. Dengan memperhatikan kondisi fisik tapak maka akan bisa benar-benar menentukan struktur yang digunakan maupun detail arsitektural. Sintesa terhadap lingkungan sekitar digunakan untuk mendapatkan tata lansekap, tanggapan kebisingan, utilitas, fasilitas dan lain sebagainya.

7) Penambahan konsep lain dan interior

Konsep yang ditambahkan pada perancangan ini adalah tema atau pendukung gagasan. Penerapan konsep tersebut sekiranya diwujudkan dalam bentuk arsitektural. Konsep tambahan berupa utilitas jugadimasukkan kedalam langkah ini. Penerapan bisa berupa tatanan ruang, detil furniture, utilitas, dan bentuk arsitektural lainnya.

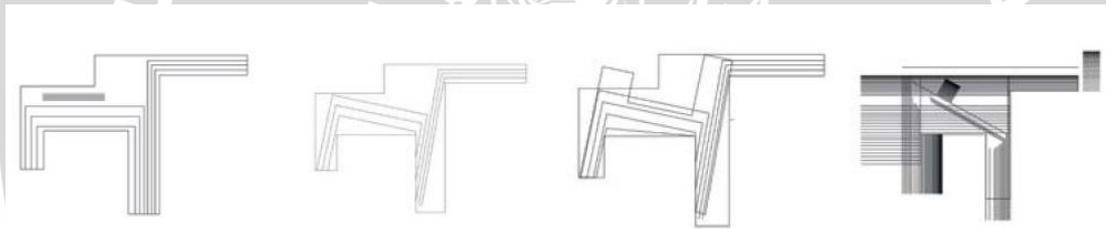
Seara khusus ide gagasan dari BMW Central Building sendiri adalah sosial dari sebuah lingkup industri yang secara tidak langsung memisahkan antara pegawai kantor dan buruh pabrik. Salah satu hasil dari wawancara tentang bangunan seluas 25.000 hektar ini adalah sistem *grid* yang digunakan hanya bertujuan sebagai orientasi dalam menggambar. Sistem *grid* tradisional dianggap sebuah sistem yang sudah lewat dan tak memiliki hubungan dengan keilmiah konstruksi saat ini. Perancangan bangunan BMW Central Building dibagi menjadi dua tahap, pada tahap pertama adalah pengkajian lokasi hingga ide bentuk. (Gannon.2006)

Dalam proses perancangan awalnya, dapat dikategorikan bahwa Zaha Hadid menggunakan teknik logis *landscaping-land's shape*. Teknik bebas *layering-space* sendiri baru diterapkan pada langkah berikutnya. Penggunaan *layering-space* didapati dari permainan manipulasi ruang interior, pengutamakan sistem sirkulasi dan ruang yang mengalir karena bangunan ini merupakan pabrik. *Layering land's shape* didapati pada BMW Central Building seperti halnya *Regium Waterfront* di Italia. Dikategorikan *land's shape* berdasarkan batasan tapak perancangan yang lalu diolah dengan dirotasi. (Abdullah.2013)



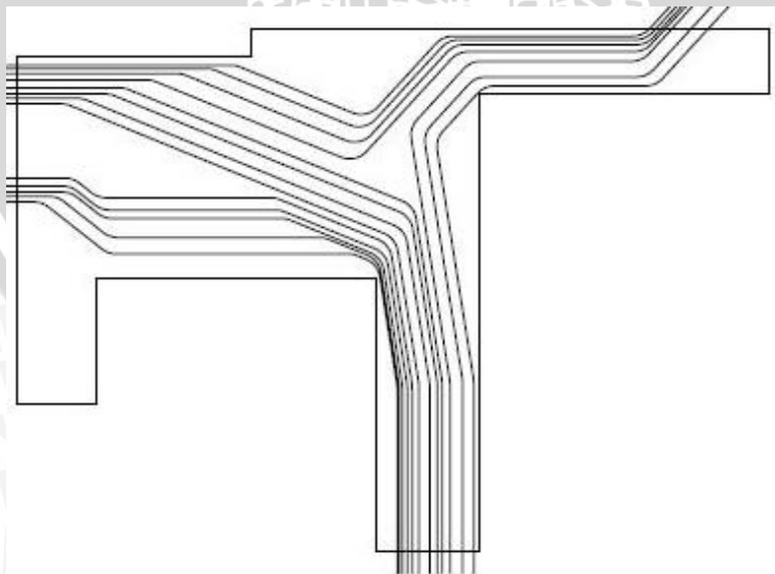
Gambar 2. 67 Posisi tapak *central building* pada kawasan

Sumber: Gannon.2006



Gambar 2. 68 Proses desain *land's shape* BMW *central building* di Leipzig, Jerman

Sumber: Gannon.2006

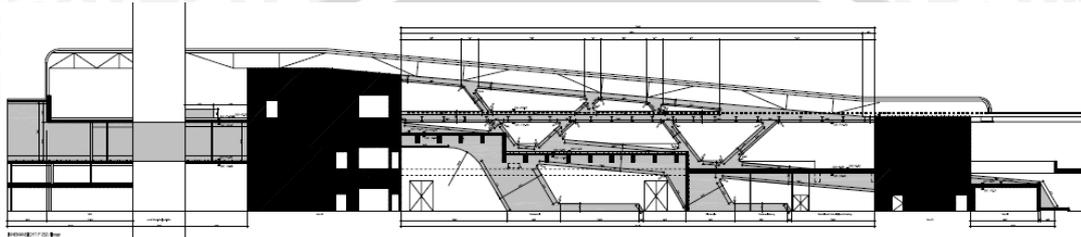


Gambar 2. 69 Vector hasil proses *land's shape* pada tahap awal

Sumber: Gannon.2006



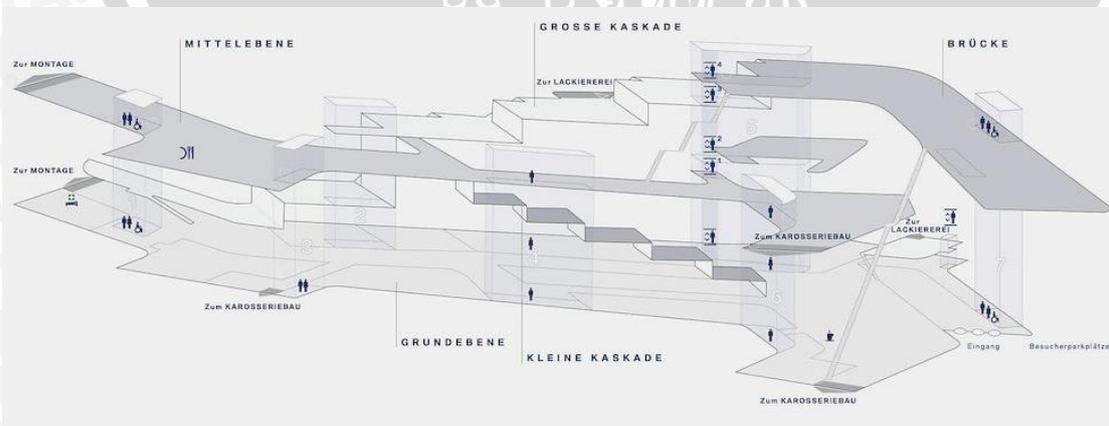
Dalam transformasi *vector* Zaha Hadi Architect melakukannya berdasarkan lini produksi yang terjadi pada kawasan. Dengan mengikuti lini produksi kawasan, rancangan *Central Building* tidak hanya mengunggulkan estetika saja, namun juga memperlancar proses produksi. Struktur bangunan di efektifkan menggunakan bentang panjang untuk mendukung konsep fluiditas serta *layering space*. Perencanaan struktur sendiri terjadi sejak proses desain awal, karena bangunan nantinya akan erat kaitannya dengan jenis struktur yang diaplikasikan.



Gambar 2. 70 Salah satu potongan bangunan yang menunjukkan notasi struktur

Sumber: Gannon.2006

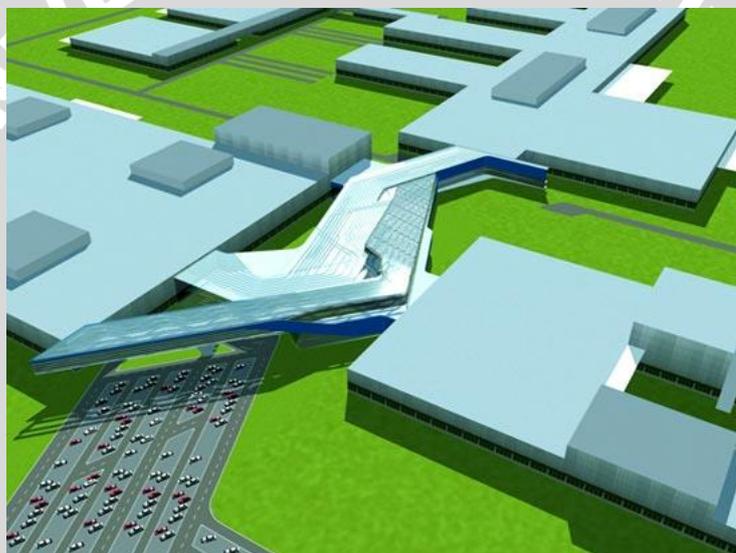
Pemrograman ruang yang ada dapat dilihat dan dirasakan secara gambar dari potongan vertikal bangunan. Berbeda dengan rancangan bangunan lainnya, *Central Building* dihubungkan antar lantai menggunakan *cascades*. Teras-teras berupa *cascades* yang ada ditopang oleh konstruksi beton dan secara sistem keseluruhan bangunan menggunakan *shear wall*. Pada bagian void bangunan ditutup dengan *space frame* sehingga cahaya alami masih bisa menerangi seluruh ruang koridor. Aktivitas kantor berada pada lantai dasar dan lantai satu yang juga diletakkan ruang loker pekerja pabrik. Pada area parkir sendiri menggunakan pola dari hasil strategi *landscaping-land's shape*, sehingga menyatu dengan tapak yang di telah olah dan tidak terkesan hambar.



Gambar 2. 71 Potongan bangunan secara ruangan

Sumber: Gannon.2006

Pada pabrik otomotif ini Zaha Hadid menampilkan industri hi-tech dengan wujud fasade dari material modern namun bertekstur dari zinalum yang dipasangkan pada struktur beton. Permainan fasade yang sedemikian rupa ditambah dengan lekukan pada bangunannya mampu memberikan kesan yang cukup elegan, futuristik, dan kesan inspiratif. Kesan yang ditunjukkan oleh Zaha Hadid sendiri tidak terlepas dari hasil produksi objek yang didalam hal ini adalah mobil berkelas BMW. Bangunan yang dirancang mampu memberikan inspirasi bagi pengamat dan meningkatkan kualitas visual dalam kawasan produksi dengan cara membuat sebuah kontras atau keganjilan. Sebagai langkah pengamanan saat terjadinya kebakaran diletakkan tangga darurat di beberapa titik. Sistem pemadaman dini bangunan adalah dengan sistem sprinkler pada bagian *non-production*.



Gambar 2. 72 Perspektif *preliminary design*

Sumber: Gannon.2006

## 2.3 Studi Preseden

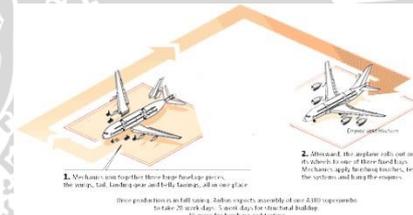
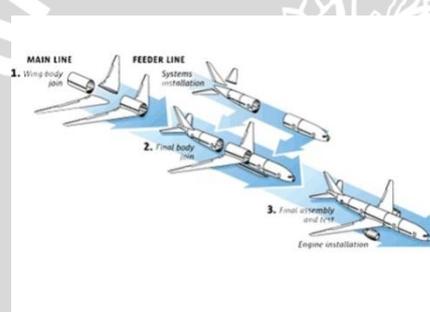
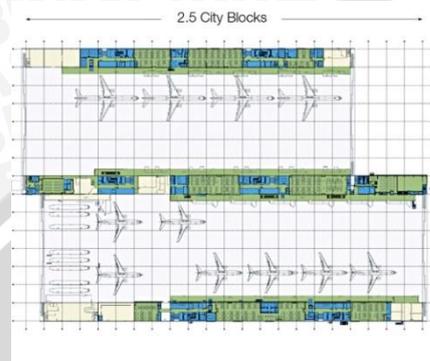
### A. Komparasi hanggar perakitan

Berdasarkan studi terhadap pustaka yang telah dilakukan, maka diperlukan tinjauan langsung terhadap objek studi sejenis. Dari pabrikan pesawat terbang yang ada di dunia maka diputuskan diambil dua pabrik sebagai bahan tinjauan. Penentuan objek yang ditinjau berdasarkan pernyataan bahwa pabrik menggunakan konsep *lean manufacturing*. Lingkup yang dikaji dalam studi preseden ini dikhususkan pada proses perakitan pesawat terbang. Penentuan aspek yang diambil berdasarkan permasalahan utama yaitu *lean manufacturing* yang dipengaruhi oleh sirkulasi manusia dan barang dalam pabrik.

Tabel 2. 10 Komparasi Konsep Bangunan

No.	Parameter	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Airbus Jean-luc Lagardère Plant
1.	Aktivitas	Perakitan dan perkantoran	Perakitan final, Finishing, dan perkantoran
		  	  
2.	Produk	B 737	A 380
	Dimensi	Dimensi	Dimensi
	Panjang:	42,12 meter	72,72 meter
	Bentang:	35,79 meter	79,75 meter
	Tinggi:	12,57 meter	24,09 meter

3. Kategori Pesawat terbang B 737 yang banyak  
Alur Lini dipergunakan oleh maskapai-maskapai  
Produksi dunia dirakit di pabrik ini. Pabrik ini  
mengalami perombakan konsep produksi  
menjadi lean manufacturing. Untuk lini  
produksinya digunakan sistem  
*combination layout*.



4. Implementasi Konsep Lean produksi ini diterapkan pada pola produksinya. Pola produksinya berupa pergerakan barang produksi yang lalu dilakukan penggabungan di tiap tahapan yang telah direncanakan. Pengawasan terhadap pengerjaan bisa dilakukan dari sisi kanan dan kiri. Konsep didukung juga dengan sistem komunikasi antar pekerja dengan pegawai. Dengan pengaplikasian lean manufacturing dalam menghadapi ke enam *waste*, Boeing menyatakan waktu pekerjaan (tanpa otomasi) menurun
- Konsep lean manufacturing pada hanggar preakitannya dapat dilihat pada pola produksi yang just in time, hampir mirip seperti Boeing. Perbedaan dengan konsep Boeing pada model fixed position *layout*nya.

hingga 50% dan pesawat bisa dirakit hanya dalam 11 hari dibandingkan 22 hari sebelumnya.



5. Konsep Bangunan

Fungsi produksi berada pada bagian tengah bangunan, sedangkan fungsi kantor berada pada sisi kanan dan kiri bangunan. Pengawasan pada proses produksi dapat dilakukan dari lantai fungsi kantor. Pada sisi samping stasiun produksi diletakkan kelengkapan bagi staf dan teknisi perakitan. Kelengkapan dalam produksi berupa meja, papan untuk gambar kerja, dan alat kerja. Lantai tempat produksi menggunakan epoxy sebagai tanggapan terhadap *jig* dan meja-meja beroda yang digunakan serta beban maupun gesekan yang ada. Hanggar dilengkapi dengan *overheadcrane*.

Fungsi produksi memenuhi lantai bangunan karena posisi kantor terpusat di satu tempat. Tempat kerja dipenuhi dengan peralatan kerja portable. Proses produksi masih bergantung pada overhead crane dalam mengangkut bagian-bagian pesawat dalam kebutuhan horizontal maupun vertikal.



- 6 Bentuk dan Estetika Bangunan
- Bentuk dasar dari bangunan ini adalah balok dengan atap datar. Bangunan ini kurang menampilkan sebuah bangunan pabrik penghasil pesawat terbang yang termasuk kategori berteknologi tinggi. Secara fungsi bangunan ini sudah sangat memadai, namun minim terhadap pencahayaan alami.
- Bangunan ini mampu menonjolkan sedikit gambaran bagaimana sebuah bangunan pabrik pesawat terbang. Peninjolannya ada pada kombinasi bentang dengan atap yang dibuat bergelombang. Pintu hanggar diberi estetika kaca yang dilapis-lapis dan memberikan kesan bertekstur dari jarak dekat.

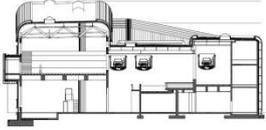
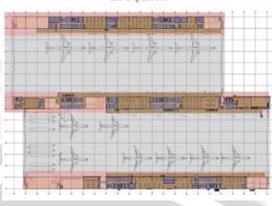


## B. Adaptasi Penerapan pada Hanggar Perakitan

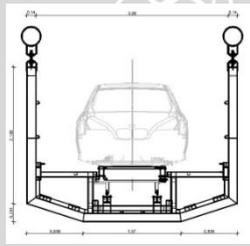
Untuk mendapatkan hasil yang layak diperlukan kajian komparasi antara penerapan proses rancang Zaha Hadid Architect pada BMW dengan hanggar perakitan pesawat terbang. Perancangan pabrik pesawat terbang jika dikomparasikan dengan pabrik mobil memiliki perbedaan pada tahapan serta dimensi barangnya. Kondisi tapak eksisting yang ada juga turut mempengaruhi pengambilan kesimpulan pustaka nantinya.

Tabel 2. 11 Kesimpulan dari adaptasi antara BMW Leipzig dengan Boeing di Renton

No.	Aspek	BMW Central Building, Leipzig	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Kesimpulan Penerapan pada Hanggar
1.	Arsitek/ Konsultan perancang	Zaha Hadid Architect	-	-
2.	Kegiatan dan pola ruang	Kantor dan <i>assembly line</i>  Ruang fungsional selain produksi berada pada lantai lebih rendah daripada konveyor beserta rangkaian tangan robot. Lintasan	Kantor dan <i>assembly line</i>  Kebutuhan bentang lebar karena barang produksi menjadi pengaruh utama terhadap tatanan ruang. Pada hanggar, kantor berfungsi sebagai	Kantor dan <i>assembly line</i>  Perkiraan jangka menengah juga harus dipikirkan mengingat objek perancangan adalah bangunan industri. Ruang yang ada harus

No.	Aspek	BMW	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Kesimpulan Penerapan pada Hanggar
		<p>konveyor mengikuti arah perakitan dan berkaitan dengan lintasan produksi kawasan. Kaitan besaran ruang serta lintasan konveyor menciptakan sisa saat ini sebagai perkiraan kebutuhan jumlah produksi kedepan.</p> 	<p>pengawas serta proses administrasi dalam produksi.</p> 	<p>mampu menampung penambahan kuantitas barang produksi kedepannya. Layout dari boeing dapat digunakan sebagai acuan karena secara tdk langsung memberikan ruang sisa yang ketika penuh lini produksinya masih bisa ditambah karena sifatnya yang bergerak.</p>
		<p>Kantor dibentuk dalam sebuah <i>cascade</i> sehingga meminimalisir ruang tanpa fungsi.</p> 	 	
			<p>Keterangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Zona Produksi</li> <li> Zona Kantor &amp; Gudang</li> <li> Utilitas</li> </ul>	
		<p>Keterangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Zona Produksi</li> <li> Zona Kantor &amp; Gudang</li> <li> Utilitas</li> </ul>	<p>Setiap lini produksi memiliki jig yang membantu proses sirkulasi vertikal barang dibutuhkan. Sisi lini produksi memiliki penanda pada lantai sebagai pengingat jadwal perpindahan barang. Untuk penambahan lini produksi, Boeing melakukan penambahan hanggar baru mengingat dimensi barang yang memang cukup besar.</p>	
		<p>Pada bangunan BMW susunan ruang dilakukan berdasarkan ide dari tujuan perancangan. Ruang disusun sesuai urutan fungsi, lalu pada beberapa bagian dimunculkan ruang bersama uuntuk memberikan kedekatan</p>		



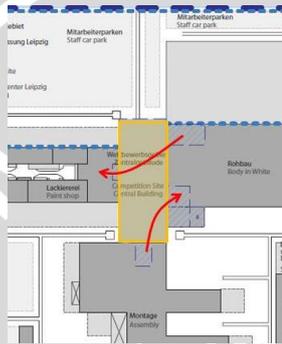
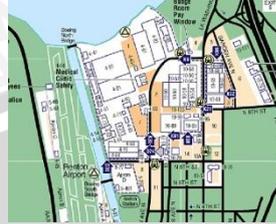
No.	Aspek	BMW Central Building, Leipzig	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Kesimpulan Penerapan pada Hanggar
		antar pegawai termasuk kantin. Sirkulai diarahkan juga untuk mencapai ide dari perancangan yang sudah ada.		
3.	Produk	BMW 1, 2, M2 dan elektrik series Produk dengan spesifikasi yang berbeda di produksi dalam satu <i>assembly line</i> .	B 737 Series Pesawat jenis B 737 memiliki varian yang beragam dengan dimensi yang berbeda-beda.	C 295 Jenis produk hanya satu namun tidak menutup kemungkinan hanggar khusus fungsi FAL akan digunakan untuk jenis pesawat lainnya. Hanggar harus terukur pada kesimpulan dengan produk PT DI yang lainnya dalam batasan maksimum C295 berdasarkan permasalahan yang ada.
4.	Cara Produksi	Perakitan dilakukan secara bertahap dan runtut dengan bantuan tangan robot kecuali pada finishing. Perakitan dilakukan pada bangunan perakitan dengan konveyor lalu menuju Central Building. Konveyor pada bangunan memiliki lebar tiga meter dengan barang produksinya dua meter	Perakitan manual secara bertahap dalam <i>moving line</i> dan ada rencana menggunakan tangan robot pada FAL. Bagian perakitan komponen saat ini sudah menggunakan bantuan tangan robot.	Masalah dibatasi dengan konsep perakitan manual namun tidak menutup kemungkinan adanya penambahan teknologi robot. Penambahan teknologi robot juga harus diperhatikan secara ringkas karena pengaruhnya terhadap kebutuhan ruang perakitan kedepan. Penerapan alur <i>moving line</i> pada bagian perakitan akhir dengan combination layout. Penggunaan tangan robot juga harus diperkirakan namun tidak detail.
				<p>Pada bagian FAL barang bergerak sepanjang lini produksi dua inci per menitnya. Pergerakan barang dibantu dengan kendaraan penarik <i>cradle</i>.</p>
6.	Alur produksi	Alur produksi pada bangunan BMW Central building mengikuti proses produksi pada tapak yang turut andil membentuk bangunan.	Produksi pesawat B737 di Renton dilakukan oleh beberapa hanggar, pengerjaan terbagi-bagi berdasarkan alur produksi pada tapak.	Alur produksi kawasan dan situasinya mempengaruhi letak pintu masuk dan keluar bangunan serta bentuk bangunan. Hubungan dalam satu

No.	Aspek	BMW Central Building, Leipzig	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Kesimpulan Penerapan pada Hanggar
-----	-------	----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

Barang berasal dari bangunan perakitan (*montage*) lalu disalurkan ke Pengecatan dasar (*Rohbau*) dan menuju ke pengecatan akhir (*Lackiereirei*). Dalam lingkup kawasan bangunan diibaratkan sebagai penghubung (*nerve*) antar bangunan produksi eksisting yang ada.

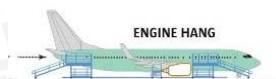
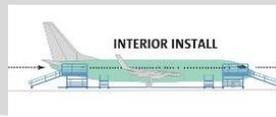
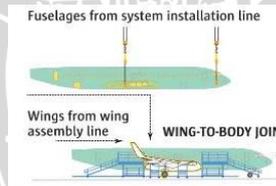
Komponen-komponen bersal dari selatan bangunan lalu dirakit ke arah utara hingga selesai.

kawasan harus masuk ke dalam perencanaan karena akan mempengaruhi sistem produksi yang ada. Pengaruh paling utama adalah letak pintu, *site entrance*, ruang terbuka hijau maupun non hijau utamanya parkir dengan spesifikasi susunannya.



Bangunan juga berfungsi sebagai pelindung dari iklim yang ada,

Dalam bangunan pesawat dirakit secara berurutan mulai dari fuselage lalu dipasang sayap utama, bagian ekor, interior, dan diakhiri mesin.



No.	Aspek	BMW Central Building, Leipzig	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Kesimpulan Penerapan pada Hanggar
7.	Struktur bangunan	<p>Bangunan memiliki bentang yang lebar, sehingga diterapkan penggunaan struktur baja IWF dan <i>space frame</i> sebagai rangka atap. Rangkaian IWF mendominasi di sepanjang bangunan sebagai penopang <i>zincalum</i>.</p> 	<p>Bangunan sepanjang 25 blok dengan konstruksi rangka baja. Rangka baja yang ada menggunakan perkuatan model K pada setiap modul.</p> 	<p>Struktur yang digunakan dapat dibagi dua yaitu selubung dan struktur ruang ataupun fungsional. Struktur yang digunakan harus sesuai dengan fungsi ruang yang ada sehingga dapat berguna bagi kelangsungan aktivitas produksi. Kombinasi struktur pada hanggar harus mendukung beban pesawat terbang yang berat dan lebar.</p>
		<p>Tidak semua bagian menggunakan rangka atap baja, sisanya adalah <i>space frame</i>.</p> 	<p>Rangka atap bangunan menggunakan model plane frame.</p> 	
		<p><i>Space frame</i> digunakan sebagai struktur yang membantu terjadinya konsep natural lighting pada bangunan selain mudah mengikuti bentuk bangunan yang lengkung.</p> 		
		<p>Sebagai penopang lantai, dinding serta kolom struktur utama adalah beton dengan rangka besi.</p>		

No.	Aspek	BMW Central Building, Leipzig	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Kesimpulan Penerapan pada Hanggar
				
8.	Konsep produksi yang digunakan	<p>Fleksibilitas Konsep produksi yang diterapkan adalah fleksibilitas walaupun dalam penerapannya mengikuti lean manufacturing yang ada lebih dahulu. Fleksibilitas yang dimaksudkan adalah produksi mengikuti produk yang dibutuhkan atau bervariasi yang dapat dicapai dengan bantuan tangan robot serta sistem distribusi suplai yang baik.</p>	<p>Lean Manufacturing Konsep produksi yang diterapkan adalah lean manufacturing untuk meringkas dan menata alur pekerjaan yang ada sehingga meningkatkan kuantitas serta kualitas produksi. Penerapan konsep didukung dengan ide-ide yang dilandasi oleh pengalaman industri sebelumnya ketika era perang dunia kedua. Beberapa contohnya adalah pitch mark, kantor dekat zona produksi, serta feederline.</p>	<p>Konsep yang akan digunakan pada bangunan mengikuti konsep yang diterapkan oleh PT Dirgantara Indonesia. Penerapan konsep lean manufacturing menggunakan cara-cara Boeing pada hanggar 4-81 dan 4-82 di Renton.</p>
9	Estetika bangunan	<p>Bangunan memunculkan estetika dari bentukan denah serta tampilannya. Denah merupakan perwujudan dari garis terluar tapak yang diolah dengan teknik <i>Land's shape</i>. Estetika pada tampak bangunan didasari dari komposisi pemilihan material yang tepat serta sesuai konteks dari bangunan. Material yang ada dimanfaatkan baik lihatnya yaitu garis-garis pada zinalum. Warna eksterior bangunan menggunakan kombinasi warna monokromatik putih abu-abu termasuk polycarbonate yang</p>	<p>Estetika bangunan cukup minim, bangunan lebih berfokus pada fungsional. Bangunan menunjukkan sifat industri teknologi tinggi dari bentukannya yang persegi dan minim penonjolan pada fasade. Demikian juga pada interior bangunan, estetika cukup minim karena lebih menonjolkan elemen strukturnya.</p>	<p>Bangunan industri tidak dapat lepas dari aspek fungsional namun bisa saja memunculkan estetika. Estetika bangunan bisa dimunculkan dari pemilihan material ataupun bentuk dasar bangunan. Dalam mewujudkan estetika yang diinginkan bisa memanfaatkan kombinasi struktur modern. Pada interior bangunan ada baiknya menggunakan pencahayaan alami karena akan dapat menghemat biaya produksi nantinya. Ide bentukan bisa juga didapat dari objek industri secara langsung atau sifatnya, yang dalam hal</p>
				

No.	Aspek	BMW Central Building, Leipzig	Boeing Renton 8-41 & 8-42 Plant	Kesimpulan Penerapan pada Hanggar
		<p data-bbox="550 257 821 280">digunakan.</p>  <p data-bbox="550 504 821 828">Pada interior bangunan, ruang dibentuk oleh dinding beton lalu terbagi oleh rangka baja serta meja kerja. Zaha Hadid menerapkan teknik layering yaitu penumpukan fungsi secara vertikal, sehingga sekat antar ruang bisa diminimalisir.</p> <p data-bbox="550 840 821 1198">Pada sekat antar ruang ada bukaan kaca sehingga ruang tidak benar-benar membatasi pandangan. Kesan dinamis pada ruang didapatkan dari lebih banyaknya garis vertikal daripada horizontal, sehingga pengguna juga merasakan skala manusia.</p>  	<p data-bbox="845 280 1125 616">Pencahayaannya bagian dalam bangunan sendiri menggunakan pencahayaannya buatan yaitu lampu, karena fungsi produksi diapit kantor. Pada atap juga tidak ada skylight yang bisa memasukkan cahaya matahari ke dalam bangunan.</p> 	ini pesawat terbang.

## 2.4 Kesimpulan Tinjauan

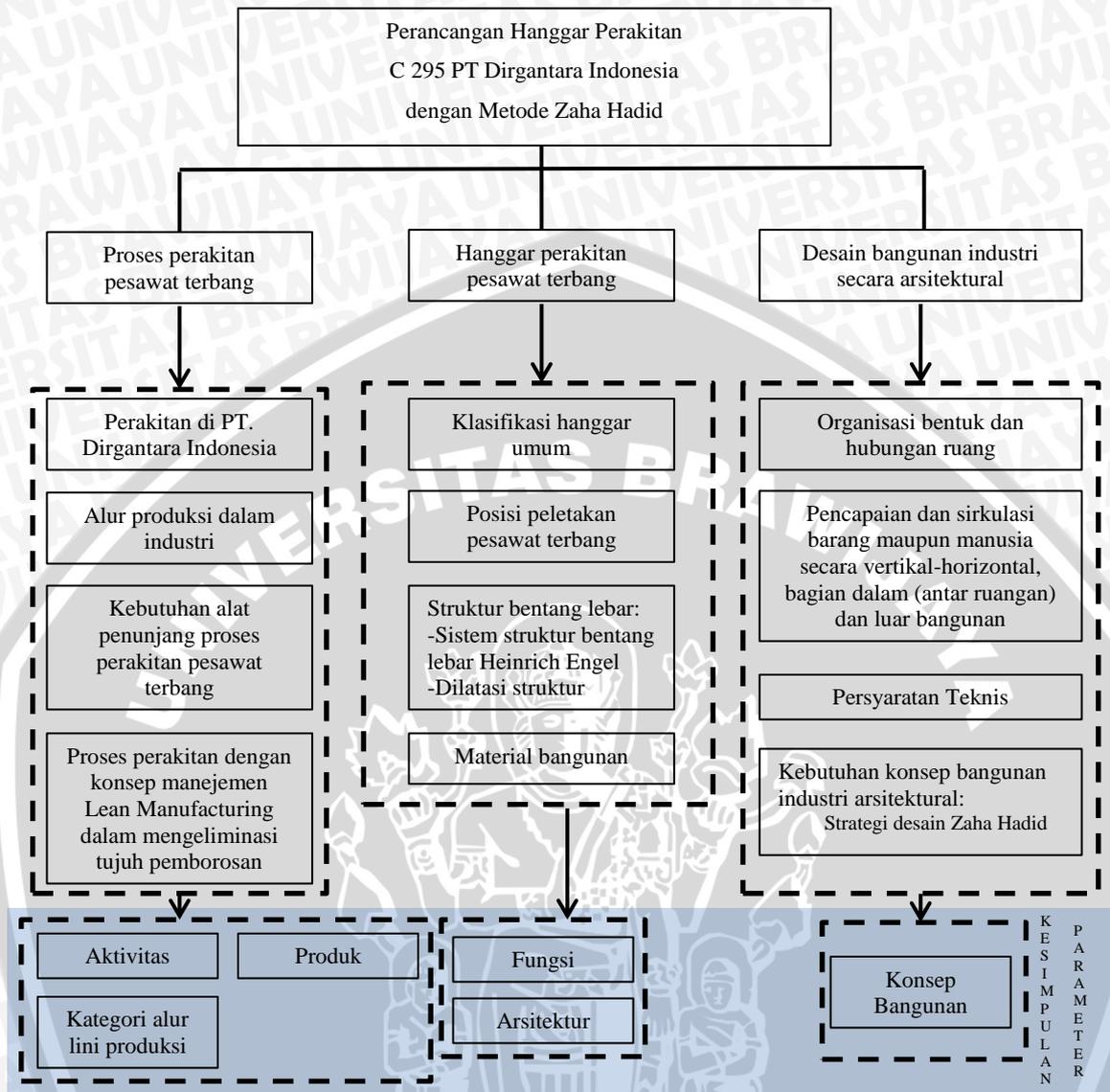
Sebagai upaya peningkatan pada industri pesawat terbang PT. Dirgantara Indonesia kedepan maka sangat perlu ditindaklanjuti dengan peningkatan kualitas wada produksi. Wadah produksi yang dimaksud apabila ditinjau pergerakan barang dan manusia serta perlengkapannya sudah sesuai dengan kebutuhan. Dalam industri kedirgantaraan

utamanya adalah pergerakan barang produksi yakni pesawat terbang yang memiliki bentang yang cukup panjang dan lebar. Berdasarkan tinjauan yang dilakukan maka bagian pelingkup bangunan harus memiliki struktur dengan kemampuan bentang lebar.

Pada penerapan *lean manufacturing* dapat diterapkan dengan konsep sirkulasi seperti komparasi yang ada dalam arsitektural serta organisasi maupun penghubung ruang. Kaitan antara kantor dan pabrik secara struktur bangunan bisa saja di pisahkan namun dalam posisi penumpukan layer dan interiornya dimainkan terlepas dari pelingkup bangunan. Permainan-permainan dalam langgam arsitektural dapat melihat langkah Zaha Hadid pada perancangan BMW Central Building. Secara regulasi yang ada di Indonesia maka bangunan gedung harus mengikuti ketentuan teknis permen PU No. 29/PRT/M/2006. Peraturan tadi secara tidak langsung sejalan dengan langkah-langkah dalam metode desain Zaha Hadid.

Pemilihan material dan konstruksinya sudah mulai banyak yang bisa dipergunakan sebagai pendukung bangunan. Selain material, perlu juga menjadi pertimbangan kaidah-kaidah arsitektur lainnya semisal warna, organisasi bentuk ruang, struktur bentang lebar sesuai kriteria Engels (1971) maupun yang lainnya. Dalam penentuan aliran barang produksi digunakan aliran seperti hanggar Boeing di Renton yaitu *combination layout* yang tidak menimbulkan pergerakan bolak-balik. Pada aliran barang datangnya digunakan *single long bay* sebagai titik awal barang distribusi masuk. Sebagai dampak dari *lean manufacturing* pergerakan arus barang dalam bangunan harus diperingkas dan dimunculkan jalur-jalur khusus. Selain barang juga untuk menghindari kesimpang siuran arus informasi ataupun manusia yang beraktivitas didalamnya sehingga berdampak positif bagi lingkungan hanggar.

### 2.5 Kerangka Tinjauan Pustaka



Gambar 2. 73 Diagram tinjauan pustaka