

APLIKASI METODE PERANCANGAN PAHL-BEITZ PADA PERANCANGAN LINI PRODUKSI

Iman Apriana Effendi, Ade Ramdan

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jl Kanayakan No. 21, Dago, Bandung, 40135

Phone/Fax : 022 2500 241 / 250 2649

Email: iman@polman-bandung.ac.id; ade_r@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Makalah ini membahas aplikasi metode perancangan Pahl-Beitz dalam proses perancangan sebuah lini produksi. Metode ini diaplikasikan dengan cara mengikuti 4 fase alur kerja proses perancangan Pahl-Beitz, mulai dari perencanaan dan penjelasan tugas, perancangan konsep, perancangan *embodiment* sampai perancangan detail. Fase perencanaan dan penjelasan tugas menghasilkan daftar tuntutan yang kemudian digunakan sebagai dasar pengembangan konsep. Fase perancangan konsep menghasilkan konsep dengan cara membuat abstraksi untuk mengidentifikasi permasalahan utama, menentukan struktur fungsi, mekanisme gerak dan struktur kerja. Fase perancangan *embodiment* menghasilkan layout lini produksi dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis serta optimasi rancangan. Sedangkan fase perancangan detail menyempurnakan layout tersebut dan mendetailnya sehingga didapatkan dokumen spesifikasi peralatan untuk sebuah lini produksi. Dengan mengikuti alur kerja metode perancangan ini, proses perancangan menjadi efektif. Setiap proses dilakukan secara sistematis sehingga dapat membimbing perancang dalam meningkatkan kreativitas dan mengevaluasi hasil perancangan.

Kata kunci: metode perancangan, Pahl-Beitz, lini produksi

1. Pendahuluan

Industri pembuat produk massal umumnya memiliki lini produksi yang unik dimana mesin, peralatan dan operator disusun sedemikian rupa untuk memproses suatu produk dalam satu alur tahapan proses. Produk disini biasanya memiliki variasi bentuk dan dimensi yang terbatas. Jika permintaan pasar untuk produk tersebut sangat tinggi, maka industri tersebut akan berusaha meningkatkan kapasitas produksinya. Salah satu cara meningkatkan kapasitas produksi adalah dengan mengembangkan lini produksinya terutama pada tahapan proses yang paling banyak digunakan.

Melihat kebutuhan industri diatas, maka dibutuhkan sebuah proses perancangan lini produksi yang dapat meningkatkan kapasitas produksi. Proses perancangan ini dapat dilakukan secara efektif dengan menggunakan sebuah metode perancangan yang akan membimbing kemampuan perancang dalam meningkatkan kreativitas dan juga mengevaluasi hasil perancangan.

Salah satu metode perancangan yang banyak digunakan dalam perancangan konstruksi mesin adalah metode perancangan Pahl-Beitz. Menurut G. Pahl and W. Beitz [1], metode perancangan ini dapat diaplikasikan pada proses perancangan semua artefak teknik [1] walaupun tidak secara spesifik dapat

diaplikasikan pada lini produksi. Dalam beberapa tulisan lain [2; 3; 4], metode perancangan ini juga dijadikan dasar dalam perencanaan peralatan sistem produksi sehingga disimpulkan kemungkinan dapat juga digunakan dalam pengembangan lini produksi.

Lini produksi sebenarnya adalah salah satu artefak teknik juga, dimana didalamnya terdapat berbagai peralatan, mesin dan operator yang disusun dalam sebuah alur produksi. Dengan meninjau kembali referensi yang ada, metode perancangan Pahl-Beitz ini akan dicoba untuk diaplikasikan dalam proses perancangan lini produksi dengan mengambil studi kasus pada pengembangan lini produksi di industri pembuat pelat penyambung pancang beton.

Dalam makalah ini diangkat proses perancangan lini produksi yang terbagi menjadi perancangan peralatan lini produksi dan dilanjutkan dengan perancangan mesin lini produksi. Diharapkan dengan mengaplikasikan metode perancangan Pahl-Beitz pada proses perancangan lini produksi, maka kebutuhan industri dapat terjawab.

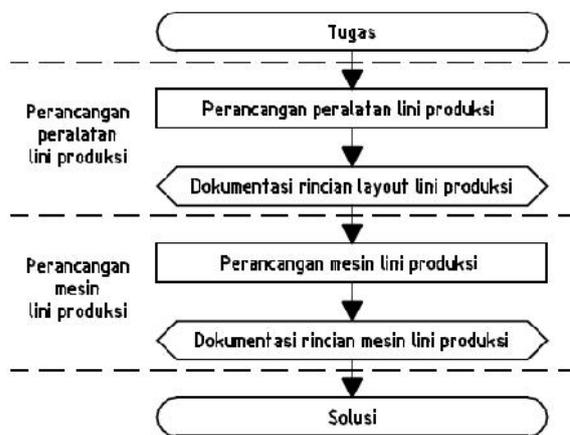
2. Umum

Pembahasan dalam makalah ini mengikuti metode induksi dimana pencarian solusi masalah dicapai dengan jalan mengamati permasalahan yang bersifat khusus dalam bidang metode perancangan dengan memperhatikan ilmu-ilmu

perancangan konstruksi, lalu menarik kesimpulan berupa metode perancangan yang bersifat lebih umum.

3. Pembahasan

Dalam makalah ini, proses perancangan lini produksi akan didekati dengan metode perancangan Pahl-Beitz. Proses perancangan ini terbagi menjadi 2 tahapan yaitu proses perancangan peralatan lini produksi dan proses perancangan mesin lini produksi. Proses perancangan peralatan akan menghasilkan layout peralatan dan spesifikasi mesin-mesin yang ada didalamnya, sedangkan perancangan mesin menghasilkan konstruksi mesin-mesin yang siap diproduksi. Diagram alir tahapan perancangan yang dilakukan dalam makalah ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 - Tahapan perancangan lini produksi

Proses perancangan peralatan lini produksi

Proses perancangan peralatan lini produksi ini terbagi menjadi 4 fase yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Fase Perencanaan dan Penjelasan Tugas

Dalam tahapan ini hanya diambil dua tahapan terakhir dari fase pertama metode perancangan Pahl-Beitz yaitu penjelasan tugas dan pembuatan daftar tuntutan. Tahapan perencanaan produk tidak dilakukan karena proses perancangan yang dilakukan saat ini bersifat permintaan khusus dari industri.

1.1. Penjelasan Tugas

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan data dengan cara survei lapangan dan wawancara dengan manajer teknik dan staf di industri. Dari pengambilan data tersebut didapat beberapa informasi sebagai berikut:

- Variasi produk
- Layout proses yang ada saat ini
- Konsep mesin yang ada saat ini

- Kebutuhan pelanggan
- Batasan-batasan umum dari pelanggan

1.2. Penyusunan Daftar Tuntutan

Dari hasil survei diatas dapat disimpulkan tuntutan pelanggan sesuai prioritas disertai justifikasi sederhana bahwa tuntutan tersebut dapat memenuhi kebutuhan pelanggan.

2. Fase Perancangan Konsep

Pada fase pengembangan konsep dilakukan penentuan prinsip solusi. Prinsip solusi ini didapat dari abstraksi permasalahan utama, penentuan struktur fungsi, penentuan struktur mekanisme gerak dan energi penggerak, penentuan struktur kerja dan mengevaluasinya dari aspek teknis dan aspek ekonomis. Hasil dari perancangan konsep ini adalah spesifikasi prinsip solusi (konsep) yang berupa struktur fungsi, struktur mekanisme gerak, energi penggerak dan struktur kerja. Pada fase ini semua buku referensi katalog tentang konsep umum penyelesaian dapat digunakan [5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15].

2.1. Abstraksi permasalahan dan identifikasi permasalahan utama

Fase ini dimulai dengan membuat abstraksi permasalahan dan mengenali permasalahan utama. Langkah pertama yang dapat dilakukan adalah dengan melihat proses yang terjadi dalam lini produksi yang ada sekarang dan digambarkan dalam struktur fungsi. Struktur fungsi dibuat mulai dari yang paling umum berupa diagram *black box* sampai dengan struktur yang paling rinci dari semua proses. Untuk memudahkan digunakan diagram yang menggambarkan perubahan energi, material dan sinyal. Struktur fungsi tersebut dilengkapi dengan keterangan daftar fungsi bagian dari struktur fungsi tersebut.

Semua abstraksi permasalahan utama harus melingkupi semua tuntutan utama yang tercatat didalam daftar tuntutan. Dari semua abstraksi permasalahan ini dapat diidentifikasi permasalahan utama.

2.2. Penentuan struktur fungsi

Dengan memperhatikan abstraksi permasalahan diatas maka disusun struktur fungsi dari sistem lini produksi yang baru yang dapat menjawab permasalahan utama.

2.3. Penentuan struktur mekanisme gerak

Dari penjelasan fungsi bagian struktur fungsi dicari alternatif mekanisme gerak yang dapat memenuhi fungsi-fungsi tersebut yang kemudian dikombinasikan dan dibandingkan berdasarkan tujuan penanganan material [16].

Perbandingan kombinasi mekanisme gerak harus melihat beberapa faktor berikut: biaya satu produk, kualitas produk, penggunaan orang, penggunaan peralatan, kapasitas produksi, penggunaan area kerja, penggunaan energi, kesehatan dan keselamatan kerja. Dari perbandingan kombinasi ini dan verifikasi ulang dengan pelanggan, maka dipilih kombinasi mekanisme gerak yang akan digunakan.

Dari fungsi bagian dan kombinasi mekanisme gerak dapat dicari alternatif energi penggerak yang dapat memenuhi fungsi-fungsi tersebut seperti alternatif penggunaan energi mekanik, motor listrik atau hidrolik. Alternatif-alternatif ini harus memperhatikan kebutuhan pelanggan, batasan umum dari pelanggan dan kemungkinan penggabungan fungsi bagian sesuai dengan konfigurasi mekanisme gerak. Dari alternatif energi penggerak tersebut, dapat dicari beberapa kombinasi energi penggerak yang dapat memenuhi fungsi bagian. Kombinasi tersebut kemudian dibandingkan dengan melihat faktor-faktor berikut: pemenuhan fungsi, biaya investasi, pemenuhan waktu siklus dan kerumitan konstruksi. Dari perbandingan tersebut dan verifikasi dari pelanggan maka dipilih kombinasi energi penggerak yang akan digunakan.

2.4. Penentuan struktur kerja

Dari struktur mekanisme gerak dan energi penggeraknya, maka dapat dibuat struktur kerja dilengkapi dengan daftar fungsi bagian dan spesifikasinya. Dari struktur kerja tersebut juga didapatkan perkiraan waktu siklus untuk penyelesaian satu produk sehingga didapatkan besar kapasitas produksi yang akan dicapai.

3. Fase Perancangan *Embodiment*

Pada fase perancangan *embodiment*, konsep yang ada dibuat gambar berskala dengan batasan ruang, pengembangan layout awal dan rancangan bentuk untuk fungsi utama dan evaluasi terhadap aspek teknis dan ekonomis. Hasil dari kegiatan ini berupa layout awal.

Layout awal ini kemudian dioptimasi dan disempurnakan rancangan bentuknya, diperiksa dari kesalahan dan faktor pengganggu dan dibuatkan daftar bagian dari dokumen produksi. Hasil akhir tahapan ini adalah layout akhir. Berikut penjelasan dari tahapan-tahapan tersebut diatas:

3.1. Pembuatan gambar berskala dengan batasan ruang

Pembuatan gambar berskala dengan batasan ruang dimulai dengan memperhatikan variasi

produk paling besar dan faktor ergonomis. Pembuatan gambar ini diharapkan dapat memberikan gambaran luas area kerja untuk fungsi utama yang berhubungan dengan produk.

3.2. Pengembangan layout awal dan rancangan bentuk untuk fungsi utama

Untuk pengembangan layout awal, dilakukan pendeskripsian ulang masing-masing fungsi bagian yang ada dilengkapi dengan data kebutuhan mekanisme gerakannya. Dengan memperhatikan variasi ukuran benda kerja terbesar dan terkecil serta komponen-komponen pendukung seperti *power unit* hidrolik, kotak panel dan kotak kontrol setiap mesin maka akan didapatkan layout baru.

3.3. Evaluasi terhadap aspek teknis dan ekonomis

Evaluasi terhadap aspek teknis dan ekonomis dilakukan dengan cara membandingkan data layout awal dengan data layout mesin yang ada saat ini. Aspek yang dievaluasi meliputi harga produk, kualitas produk, penggunaan orang, penggunaan peralatan, kapasitas produksi, penggunaan area kerja, penggunaan energi, kesehatan dan keselamatan kerja. Evaluasi ini dilakukan untuk seluruh variasi produk untuk memastikan peningkatan kapasitas produksi yang akan dicapai.

3.4. Optimasi dan penyempurnaan rancangan bentuk

Dari layout awal diatas, ada beberapa aspek yang dapat dioptimasi seperti penggunaan energi, penggunaan area kerja atau penggunaan orang.

3.5. Pemeriksaan kesalahan dan faktor pengganggu

Dari layout awal didapatkan beberapa faktor pengganggu yang dapat menjadi permasalahan seperti orientasi benda kerja atau kemudahan pemasangan dan pelepasan benda kerja. Faktor pengganggu ini harus dicari solusinya. Jika solusi sudah didapatkan, dan dengan persetujuan pelanggan, maka dibuat gambar layout perbaikan lengkap dengan struktur fungsi, dengan daftar fungsi bagian dan deskripsinya.

Dari layout perbaikan juga didapatkan perubahan waktu siklus untuk setiap variasi benda kerja. Kemudian dilakukan peninjauan kembali perubahan evaluasi aspek teknis dan ekonomis.

3.6. Persiapan awal daftar bagian dan dokumen produksi

Dari daftar fungsi bagian diatas, beberapa fungsi bagian dapat digabungkan menjadi satu

kesatuan alat. Semua peralatan ini disusun dalam sebuah daftar peralatan lengkap dengan fungsi-fungsi bagian didalamnya dan jumlahnya.

4. Fase Perancangan Detail

Pada tahapan ini dilakukan penyempurnaan layout dan daftar peralatan, pembuatan dokumen spesifikasi peralatan dan pemeriksaan semua dokumen terhadap standar.

4.1. Penyempurnaan layout dan daftar peralatan

Disini layout ditinjau ulang dan dicatat spesifikasinya. Spesifikasi layout tersebut berisi harga produk, kualitas produk, penggunaan orang, penggunaan peralatan, kapasitas produksi, penggunaan area kerja, penggunaan energi, kesehatan dan keselamatan kerja.

4.2. Pembuatan spesifikasi peralatan

Dalam tahapan ini dibuat spesifikasi setiap peralatan yang nantinya akan menjadi daftar kebutuhan perancangan alat tersebut. Daftar kebutuhan masing-masing peralatan ini berisi: nama peralatan, deskripsi, jumlah, fungsi bagian, ilustrasi, penjelasan masing-masing fungsi bagian dan kebutuhan umum peralatan. Penjelasan fungsi bagian dan kebutuhan umum berisi prinsip kerja, geometri, kinematika, gaya, energi, material, sinyal, keselamatan kerja, ergonomis, produksi, kendali mutu, perakitan, transportasi, operasional, perawatan, daur ulang dan harga. Dari layout ini juga diketahui jumlah operator yang dibutuhkan.

4.3. Pemeriksaan semua dokumen terhadap standar

Pemeriksaan semua dokumen dilakukan dengan dua pihak yang akan terlibat pada tahapan berikutnya yaitu:

- Pelanggan (pihak industri)
- Tim Perancang

Proses perancangan mesin lini produksi

Perancangan mesin ini akan menghasilkan konstruksi mesin yang siap diproduksi berupa gambar kerja susunan, gambar kerja bagian, daftar bagian, instruksi pembuatan, instruksi perakitan, instruksi transportasi dan instruksi pengoperasian. Acuan awal dalam perancangan mesin lini produksi ini adalah spesifikasi mesin-mesin dan alat-alat hasil perancangan peralatan lini produksi.

Secara umum proses perancangan mesin lini produksi juga terbagi menjadi empat fase sama seperti dalam proses perancangan peralatan. Hanya saja rincian kegiatan dan dokumen hasilnya yang berbeda. Rincian kegiatan keempat fase perancangan mesin

tersebut dan perbandingannya dengan perancangan peralatan dapat dilihat pada tabel 1.

Fase Perancangan Pahl-Beitz	Fase perancangan peralatan lini produksi	Fase perancangan mesin lini produksi
Penjelasan tugas	- Penjelasan tugas - Pembuatan daftar tuntutan	- Penjelasan tugas - Penyusunan daftar kebutuhan
Perancangan konsep	- Abstraksi permasalahan dan identifikasi permasalahan utama - Penentuan struktur fungsi - Penentuan struktur mekanisme gerak - Penentuan struktur kerja	- Abstraksi permasalahan dan identifikasi permasalahan utama - Penentuan struktur fungsi - Penentuan struktur konstruksi
Perancangan <i>embodiment</i>	- Pembuatan gambar berskala dengan batasan ruang - Pengembangan layout awal dan rancangan bentuk untuk fungsi utama - Evaluasi terhadap aspek teknis dan ekonomis - Optimasi dan penyempurnaan rancangan bentuk - Pemeriksaan kesalahan dan faktor pengganggu - Persiapan awal daftar bagian dan dokumen produksi	- Pembuatan gambar berskala - Evaluasi aspek teknis dan ekonomis - Optimasi dan penyempurnaan bentuk - Pemeriksaan kesalahan dan faktor pengganggu - Perhitungan pemilihan komponen utama - Pembuatan konstruksi ulang dengan ukuran lebih tepat - Pembuatan model 3 dimensi - Optimasi lanjut
Perancangan detail	- Penyempurnaan layout dan daftar peralatan - Pembuatan spesifikasi	- Penyusunan daftar komponen - Penentuan material - Perkiraan

	peralatan - Pemeriksaan semua dokumen terhadap standar	biaya - Pembuatan gambar kerja dengan memperhatikan proses pembuatan
--	---	---

Tabel 1. Rincian kegiatan perancangan mesin lini produksi

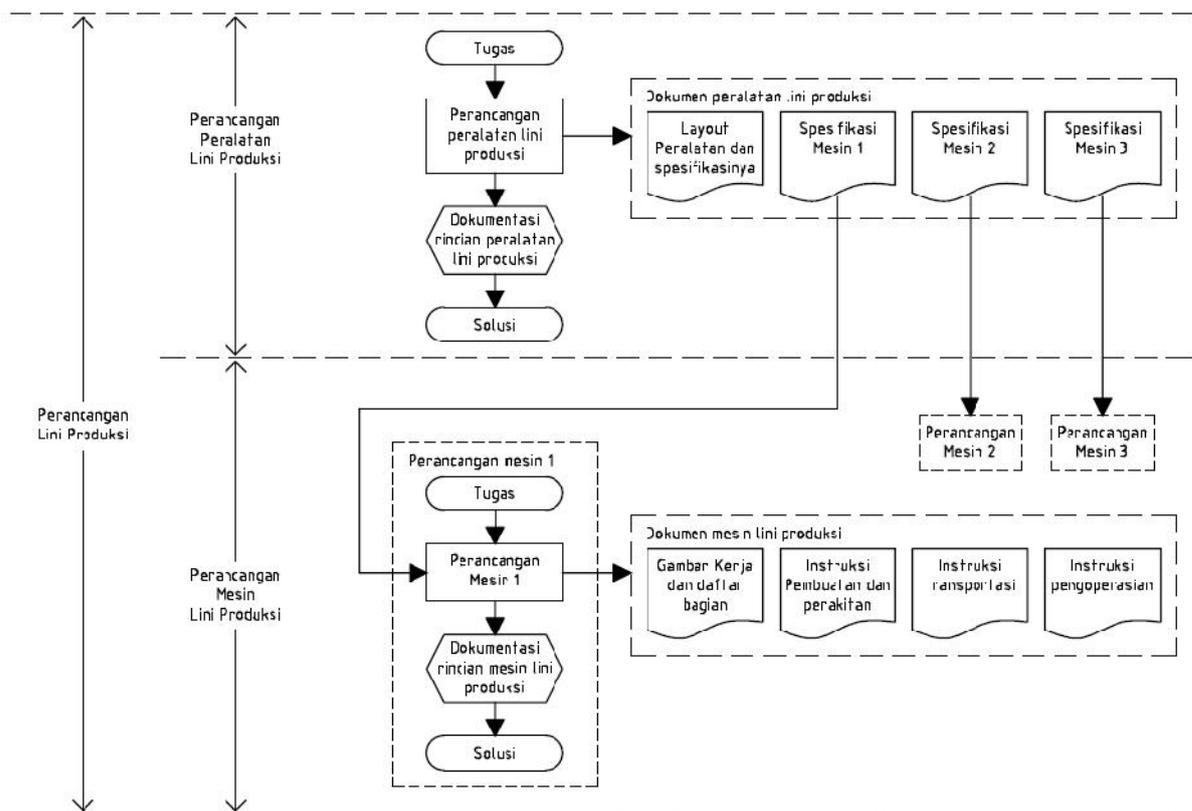
4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam makalah ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa metode perancangan Pahl-Beitz dapat diaplikasikan pada perancangan lini produksi dengan cara membaginya menjadi 2 tahapan yaitu tahapan perancangan peralatan lini produksi kemudian dilanjutkan dengan tahapan perancangan mesin lini produksi. Perancangan peralatan lini produksi akan menghasilkan layout dan spesifikasi mesin atau alat yang dibutuhkan.

Spesifikasi mesin inilah yang akan digunakan sebagai acuan dalam perancangan mesin lini produksi tersebut. Gambaran hubungan perancangan peralatan dan perancangan mesin dalam perancangan lini produksi dapat dilihat pada gambar 2.

Ada catatan pelengkap dimana titik berat penilaian aspek teknis dan ekonomis untuk perancangan lini produksi [16] adalah: biaya sebuah produk, kualitas produk, penggunaan orang, penggunaan peralatan, penggunaan area kerja, penggunaan energi, kesehatan dan keselamatan kerja.

Dengan mengikuti alur kerja metode perancangan ini, proses perancangan menjadi efektif. Setiap proses dilakukan secara sistematis sehingga dapat membimbing perancang dalam meningkatkan kreativitas dan mengevaluasi hasil perancangan.



Gambar 2 - Hubungan perancangan peralatan dan perancangan mesin dalam lini produksi

Referensi/Daftar Pustaka

[1] G. Pahl and W. Beitz. 2007. Engineering Design: A Systematic Approach; Springer

[2] Kikuo Fujita, Shuhei Ohtani. 2001. Hierarchical Contexts for Emergent Layout Design Synthesis: Preliminary Development of Agent-Based Plant Layout Design System; Inggris: 3rd International Workshop on Emergent Synthesis – IWES’01.

[3] Eduardo A.P Santos, Marco A.B de Paula. 2004. An Integrated Design Methodology for Automated Manufacturing System. Inggris: Elsevier Ltd on behalf of IFAC.

[4] Adrien Guénebaut, Cecilia Zanni, Marc Barth, Roland de Guio. 2007. A Generic

- Model of The Creative Process in Production System Design. Inggris: 19th International Conference of Production Research.
- [5] Schuller. 1998. Metal Forming Handbook. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
 - [6] P.H. Joshi. Jigs and Fixtures Design Manual 2nd Edition. 2003. McGRAW-HILL.
 - [7] Carrlane Catalog. Carrlane.
 - [8] Yotaro Hatamura. 1999. The Practice of Machine Design. Clarendon Press – Oxford.
 - [9] P.H. Joshi. 2007. Machine Tools Handbook, Design and Operation; McGRAW-HILL.
 - [10] Rexroth: Cylinder Catalog; Rexroth.
 - [11] THK General Catalog: LM Guide. THK.
 - [12] THK General Catalog: Ball Screw. THK.
 - [13] Mitsubishi Electric Factory Automation. MR-J3 Servo Amplifiers and Motors – Advanced Servo Technology. Mitsubishi Electric.
 - [14] www.sherline.com: Rotary Table Section.
 - [15] www.detrone.com.tw: Rotary Table Section.
 - [16] Meyers, Fred E. Plant Layout and Material Handling. 1993. Regents/Prentice Hall