

Teaching Materials Development of The Geometric Specification and Verification for Mechanical Components

Indra Djodikusumo^{1,*}, Sri Hardjoko Wirjomartono¹, M. Abdulkadir², Agus Dwi Iskandar², dan Agung Wibowo¹

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung - Bandung

²Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik Nasional – Yogyakarta

*Korespondensi: djodikusumo.indra@gmail.com

Abstract. In order to gain a good quality product, intense communication is needed between the designer, manufacturer and product quality controller, through the technical drawing media. Communication between the designer, manufacturer and product quality controller should be standardized. One of ISO standards related to geometric specification and verification is ISO 1101. The standards should be taught in the college of mechanical engineering to graduate the human resources that will be involved in the design, manufacture and quality control activities. However, the time problem and lecturers capability in following the standard changes cause those new things of standards can not be taught properly. It is proposed the existence of an institution that specifically following, reviewing and disseminating the perception and utilization of geometrical product specification (GPS) in the process of product development, not only in the college/universities but also in the industry and professional organizations such as BKM-PII.

Abstrak. Demi menghasilkan produk yang berkualitas, komunikasi yang intens perlu dilakukan antara perancang, pembuat dan pengontrol kualitas produk, melalui media gambar teknik. Komunikasi antara perancang, pembuat dan pengontrol kualitas produk perlu distandarkan. Standar-standar ISO yang terkait dengan spesifikasi dan verifikasi geometrik diantaranya adalah ISO 1101. Seharusnya standar tersebut diajarkan diperguruan tinggi teknik mesin sebagai penghasil sumberdaya manusia yang akan terlibat pada kegiatan perancangan, pembuatan dan pengontrolan kualitas. Namun karena ketersediaan waktu dan kemampuan perguruan tinggi dalam mengikuti perubahan standar, maka hal-hal baru pada standar-standar tersebut tidak bisa diajarkan. Perlu diusulkan adanya suatu badan (lembaga) yang khusus mengikuti, mengkaji dan menyebarluaskan pemahaman dan pemanfaatan *geometrical product specification (GPS)* dalam suatu proses pengembang produk, bukan hanya di lingkungan perguruan tinggi tetapi juga di lingkungan industri dan organisasi profesi seperti BKM-PII.

Kata kunci: ISO, gambar teknik, 2D, 3D, ukuran, penyimpangan geometrik

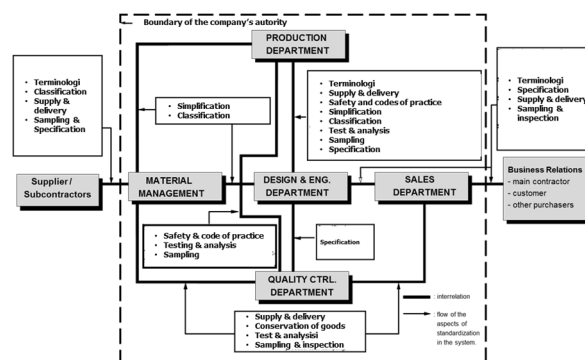
© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Tulisan ini membahas masalah pelaksanaan pendidikan sarjana bidang teknik mesin dan hubungannya dengan kebutuhan tenaga pada industri mesin yang dalam hal ini digunakan istilah lain yaitu industri enjiniring.

Industri enjiniring merupakan industri yang kompleks, baik dari segi proses produksi dan organisasi di dalamnya maupun susunan atau tingkat ukuran yang tersusun secara nasional, regional dan internasional. Sebagai contoh industri dengan produk akhir yang kompleks adalah industri kendaraan bermotor, industri pesawat terbang dan industri kapal. Industri tersebut bekerja sama dengan industri yang menghasilkan produk khusus berupa *vendor parts* ataupun industri *common parts* yang merupakan komponen umum yang dapat dipakai dan dibutuhkan oleh industri lainnya. Gambar 1 menunjukkan bagian penting dari suatu

lingkungan industri enjiniring, beserta perangkat komunikasi yang diperlukan.



Gambar 1. Bagian-bagian penting dalam organisasi industri enjiniring dan standar sebagai perangkat komunikasi

Perangkat komunikasi tersebut kebanyakan berupa publikasi standar, diantaranya berupa stan-

dar dasar untuk suatu kelompok standar terminologi, terutama standar gambar teknik mesin dan standar spesifikasi. Khusus standar yang menyangkut gambar teknik akan diulas secara lebih intensif karena peran pentingnya dalam proses pengembangan produk, yang dimulai dari proses desain, proses manufaktur dan verifikasi tingkat kesesuaian hasil manufaktur terhadap rancangan spesifikasi produk.

Sejarah ISO

Gambar teknik bukan sebuah konsep baru, gambar teknik sudah digunakan ribuan tahun yang lalu walaupun bentuknya masih sangat sederhana. Selama berabad-abad, arsitek dan desainer, termasuk Leonardo Da Vinci, juga sudah menggunakan gambar teknik. Namun, matematikawan Prancis, Gaspard Monge, dianggap oleh banyak orang sebagai bapak gambar teknik modern. Buah pikiran Monge tentang Deskriptif Geometri diterbitkan sekitar tahun 1799, yang menjadi fondasi untuk perkuliahan di universitas. Pada tahun 1821, untuk pertama kalinya teks bahasa Inggris mengenai praktek gambar teknik (deskriptif geometri) diterbitkan oleh Claudius Crozet, seorang Profesor di Akademi Militer Amerika Serikat.

Gambar teknik digunakan untuk berbagai macam keperluan, misalnya bangunan sipil, konstruksi mesin dan lain sebagainya. Gambar Teknik untuk konstruksi mesin dapat mengkomunikasikan secara visual bagaimana suatu mesin dibangun dan berfungsi. Agar gambar dapat dipahami secara seragam, maka orang membuat standar tentang bagaimana membuat gambar teknik. Standar semacam itu menjadikan gambar teknik dapat dipahami secara mudah dan seragam (tidak ada keambiguan) oleh banyak pihak yang memerlukannya, misalnya desainer, pembuat dan pelaku verifikasi. Standar internasional tentang gambar teknik untuk bangunan mesin adalah ISO-128.

ISO-128 diadopsi dari DIN-6 yang dipublikasikan pertama kali tahun 1922, kemudian diperbarui (*updated*) pada tahun 1950 dan 1968. ISO-128 itu sendiri dipublikasikan pada tahun 1982, yang mengatur bagaimana menampilkan suatu konstruksi mesin pada gambar teknik, khususnya dikaitkan dengan metode proyeksi ortografik. Setelah itu dilakukan perubahan-perubahan pada bagian-bagian standar ISO-128 hingga pada tahun 2003 ISO-128 memiliki 12 bagian. Dimulai dengan ringkasan aturan umum struktur gambar teknik. Selanjutnya, konvensi dasar untuk garis, pandangan, potongan dan bagian, serta berbagai jenis gambar teknik, seperti teknik mesin, arsitektur, teknik sipil, dan pembuatan kapal. Hal ini berlaku

untuk gambar manual dan gambar yang berbasis komputer, namun tidak berlaku untuk model CAD tiga dimensi.

ISO-128 mengatur bagaimana menampilkan suatu gambar misalnya untuk konstruksi mesin, arsitektur, sipil dan kapal, sedangkan ISO-129 mengatur bagaimana menampilkan khususnya konstruksi mesin saja. Bangunan-bangunan lainnya diatur pada standar yang spesifik disiapkan untuk itu.

Batas ukuran, suaian dan toleransi untuk ukuran linier diatur oleh ISO pada ISO-286. Tiga jenis suaian diperkenalkan dalam ISO-286, yaitu suaian longgar, pas dan paksa. Dalam standar ini dinyatakan sistem toleransi dan penyimpangan yang sesuai untuk dua jenis fitur yaitu fitur-fitur silinder dan dua permukaan berlawanan sejajar, dengan tujuan pemenuhan fungsi yang spesifik pada fitur-fitur tersebut.

Pendimensian dan pentoleransian bentuk dan lokasi diatur oleh ISO 1101. ISO 1101 terus berkembang, mulai dari ISO 1101-1999, ISO 1101-2004, ISO 1101-2007, ISO 1101-2012 dan yang terakhir ISO 1101-2017.

Standar ISO untuk dimensi dan spesifikasi geometrik seperti yang sudah disebutkan di atas berkembang secara individu, sesuai dengan kepanitiannya, yaitu ISO TC 213 (*Technical Committee 213*) dimana TC tersebut memiliki WG (*Working Group*) yang bermacam-macam tergantung pada kelompok keahlian anggotanya, misalnya WG 16 untuk tekstur permukaan. Standar yang berkembang secara individu tersebut kemudian diintegrasikan oleh ISO 14638 Spesifikasi Produk Geometrik, yang memiliki struktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

		Chain links			
		A	B	C	...
		Symbols and indications	Feature requirements	Feature properties	...
	Distance				
	Form				
	Orientation				
	Location				
	Run-out				
	Profile surface texture	ISO 14405-1	ISO 14405-1	ISO 286-1	
	Areal surface texture	ISO 286-1	ISO 286-1	ISO/TS 16610 series	
	Surface imperfections		ISO 286-2	ISO 14405-1	

Gambar 2. Model Matriks Standar ISO GPS dan contohnya.

Pengembangan produk

Produk industri enjiniring umumnya merupakan produk hasil rakitan, dan jarang yang merupakan produk tunggal. Pada mulanya produk timbul sebagai hasil proses pengembangan dengan tahapan

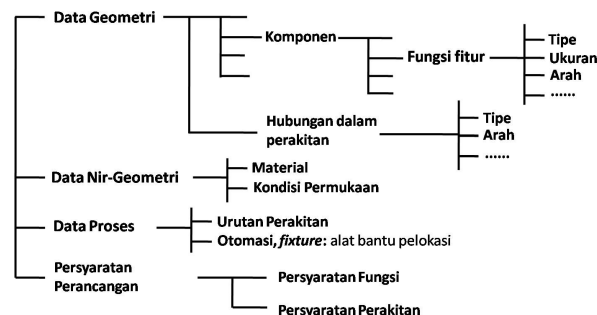
mulai dengan perancangan atau desain, disusul manufaktur dalam rangkaian proses produksinya dengan variasi hasilnya, yang kemudian ditunjukkan pada variasi hasil pengukuran dimensi atau ukuran. Variasi dimensi ini harus terletak pada daerah yang memenuhi persyaratan yang dikenal dengan toleransi dimensi. Variasi dimensi ternyata kurang menjamin kualitas secara memuaskan karena variasi proses produksi tidak hanya menyangkut dimensi linear saja, tetapi juga menyangkut geometri produk seperti bentuk, orientasi, lokasi, profil, kesalahan putar, kesejajaran dsb.

Tuntutan kualitas membuat desainer produk injiniring harus menguasai pengetahuan lain yang berhubungan dengan geometri seperti tersebut sebelumnya. Variasi pada geometri selama proses harus mampu dikendalikan, dan diukur dan dibandingkan dengan spesifikasi produk yang dirancang oleh desainer. Tahapan akhir ini merupakan proses verifikasi, apakah hasil manufaktur sesuai dengan yang dirancang oleh desainer. Disainer, merupakan istilah yang ditunjukkan untuk si perancang, baik secara perorangan (jarang) ataupun secara sekelompok orang (umum), haruslah memiliki pengetahuan yang prima dalam injiniring dan aplikasinya. Seorang desainer juga harus memiliki pengetahuan yang cukup tentang proses produksi dan variasi hasil produksi, serta kemampuan proses pengukuran (metrologi) termasuk yang dilakukan selama proses produksi berjalan dalam rangka mengendalikan proses agar variasi hasil proses produksi terkontrol dalam batas-batas penyimpangan yang dapat dipertanggung-jawabkan.

Pemahaman pengetahuan injiniring dan aplikasinya ini meliputi pemilihan material dan *vendor*- serta *common-parts*, toleransi dan suaian beserta penggunaannya (*limits & fits*), serta unsur spesifikasi geometri lainnya. Akan lebih baik lagi apabila desainer juga mengetahui kemampuan proses produksi dan kontrol kualitas yang dimiliki perusahaan. Sementara itu, baik bagian produksi maupun bagian kontrol kualitas, harus mampu membaca keinginan desainer yang tertuang dalam gambar teknik. Sebelum gambar teknik diloloskan ke kedua bagian ini, sebaiknya mereka dilibatkan untuk mengevaluasi gambar yang dimaksud sehingga mereka dapat mengantisipasi apakah sarana yang ada mampu menghasilkan produk sesuai spesifikasi dan ketelitian yang dituntut. Khusus bagian produksi dengan demikian dapat memulai, kalau diperlukan, merancang *jigs & fixtures* serta pembuatannya. Pengetahuan dan / atau kompetensi ideal desainer secara singkat dapat dilihat seperti Gambar 3.

Dalam persaingan yang ketat, perusahaan yang berkompetisi berusaha memasukkan produk baru-

nya ke pasar sesegera mungkin atau mempersingkat apa yang dikenal sebagai *'time to market'*. Untuk mencapai hal ini maka sebelum desain produk selesai, baik bagian produksi maupun bagian kontrol kualitas dilibatkan untuk mengevaluasi desain sedini mungkin. Tindakan demikian dikenal sebagai *'concurrent engineering'*.



Gambar 3. Kompetensi dasar desainer

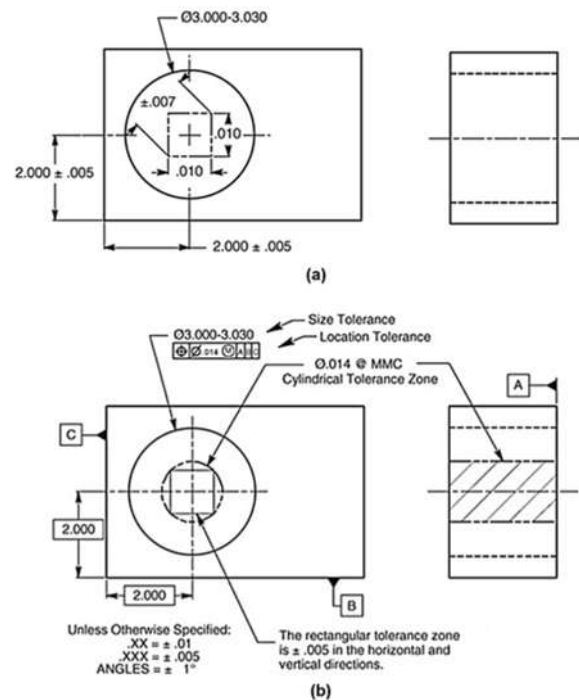
Concurrent engineering ini dilakukan oleh suatu tim yang terdiri intinya dari departemen injiniring ditambah wakil-wakil dari bagian manufaktur, pengadaan/pembelian, kontrol kualitas, dan pemasaran. Biasanya wakil dari bagian manufaktur duduk sebagai co-chairman bersama wakil dari bagian injiniring. Dengan demikian pada awalnya, desain dibuat oleh seorang ahli teknik produk (product engineer) yang menguasai keahlian dalam rancangan produk, dengan pengetahuan mumpuni dalam bidang analisa teknik, cukup pengetahuan dalam teknik produksi, penjaminan kualitas, realibilitas, dan kemampurakitan dan disiplin pengetahuan lain yang relevan. Orang yang memiliki kualifikasi seperti ini sulit didapat alau langka. Disamping itu seorang profesional semacam ini dengan menguasai berbagai pengetahuan teknik dan teknologi biasanya juga melewati pelatihan/training, paling tidak sebagian dari berbagai pengetahuan yang diperlukan tersebut, kalau-pun tidak semuanya. Tenaga profesional semacam ini biasanya juga tidak akan bertahan lama dan perlu digantikan pada saat memasuki pensiun. Karena kelangkaan adanya personal semacam ini membuat perusahaan akan menghadapi kesulitan mencari gantinya dan berbahaya untuk kelangsungannya. Sedangkan pengetahuan dan pengalaman desainer yang terakumulasi belum tentu terdokumentasi dengan baik, dengan kemungkinan akan hilang bersamaan dengan habisnya usia. Oleh karena kemungkinan negatif semacam ini berulang terjadi, dikembangkanlah seorang desainer ini menjadi suatu tim yang terdiri dari berbagai personal dengan keahlian dan kualifikasi berbeda namun saling mendukung dalam suatu tim. Tim semacam ini oleh perusahaan harus dipelihara dan dikembangkan sesuai dengan tuntutan kemajuan teknologi dan persaingan. Terlebih lagi dengan perkembangan

ilmu pengetahuan dan teknologi akhir-akhir ini, pemakain teknologi baru oleh mereka yang cekatan beradaptasi ataupun perusahaan baru yang inovatif maka terjadilah beberapa perusahaan yang besar dan mapan yang sudah merasa nyaman terdesak – *disruption technology* akan muncul yang bisa dan akan menghancurkannya.

Toleransi dimensi ke toleransi geometri

Di atas telah disinggung toleransi dimensi dan toleransi geometri. Toleransi dimensi merupakan toleransi linier. Dalam suatu produk rakitan dengan mempergunakan toleransi linier besaran dimensi, bila berperan sebagai ukuran fungsional, merupakan jarak antar permukaan, antara permukaan dengan - elemen lain seperti sumbu, dengan - garis pertemuan antara dua bidang (edge), atau dengan - titik yang membentuk rangkaian atau hubungan elemen yang berpasangan. Dengan keadaan seperti ini pemilihan dimensi fungsional perlu dikendalikan dengan baik dalam proses produksinya. Dalam pemakaian toleransi linier, desainer cenderung melakukan pengambilan toleransi secara analisa atau coba-coba (*trial and error*) dengan memperhitungkan ketepatan pemakaian dan dengan mempertimbangkan ongkos produksi. Namun demikian biasanya disainer cenderung untuk memakai toleransi dengan besaran sekecil atau seketat mungkin dengan harapan fungsi yang dirancang terjamin berfungsi.

Toleransi linier mengandung banyak kelemahan, khususnya dalam menterjemahkan toleransi untuk memenuhi fungsi produk seperti yang diharapkan oleh desainer, inspektor yang melakukan verifikasi, dan efektivitas. Sejak tahun 1970-an bersama-sama secara internasional dilakukan kerjasama dalam kalangan ISO untuk memperbaiki keadaan ini. Kerjasama ini menyangkut karakteristik geometri komponen produk rakitan, agar produk dapat terkontrol dengan baik bukan hanya pada dimensi tetapi juga dalam geometrinya seperti bentuk, orientasi, lokasi, profil, kesalahan putar. Kesepakatan kondisi dasar yang harus dipenuhi pada toleransi linier dan sekaligus toleransi geometri disusun dalam standar-standar atau kumpulan standar, pemakain mana menjadi bahasa komunikasi seperti telah disajikan dalam gambar 1. Standar yang dimaksud termuat dalam Standar ISO 1101 2004. Di Amerika Serikat padanan standar ini adalah ANSI/ASME Y 14.5,1 1994. Perubahan yang terjadi pada gambar produk dengan memakai hanya toleransi linier dengan memakai toleransi linier bersama-sama toleransi geometri dapat dilihat pada Gambar 4.



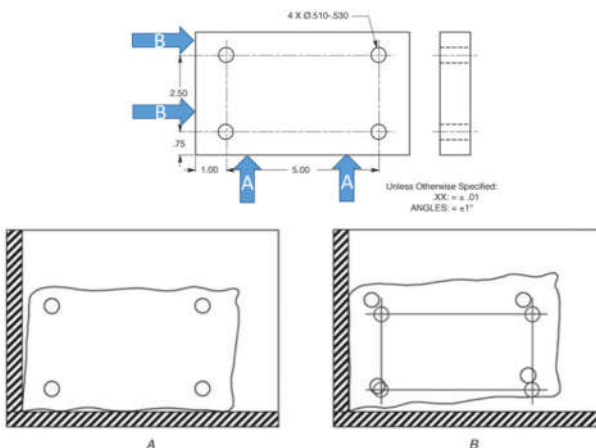
Gambar 4. (a) toleransi linier dan (b) toleransi geometri

Gambar 4(b) merupakan perubahan Gambar 4(a) ditambah pemakaian toleransi geometri dengan menambahkan tanda MMC, yaitu toleransi pada lokasi posisi titik pusat lingkaran sebesar .014 inci. Dengan cara ini fungsi komponen (part) tidak terganggu dan meyakinkan bahwa posisi sumbu lingkaran terkontrol hingga memudahkan bagian kontrol kualitas melakukan verifikasi. Perhatikan pula tanda datum yang mungkin dapat diberikan pada komponen yang berguna dalam menentukan kualitas permukaan dan bidang referensi untuk pengukuran.

Toleransi geometri semakin penting sebagai sarana dan perangkat informasi dan komunikasi dalam desain dan manufaktur produk. Kesadaran pemakaian toleransi semakin luas seiring dengan perkembangan industri dunia, khususnya dalam kerjasama produksi seperti subkontrak dan menduniannya investasi. Bagaimana keadaan dan pemakaiannya di Indonesia? Dan bagaimana dengan pendidikan di teknik mesin? Marilah kita analisa dan pelajari dengan jujur kondisi di tanah air. Kami yakin semua industri mesin yang merupakan penanaman modal asing telah memakai toleransi geometri, khususnya industri kendaraan bermotor. Mungkin telah ada industri mesin asli lokal (PMDN) yang adopsi atau memakai toleransi geometri dalam pembuatan produk. Studi perlu dilakukan untuk mengumpulkan data seberapa jauh tingkat pemakaian toleransi geometri ini. Terbatas pada pengetahuan kami tentang kondisi industri mesin sampai saat ini pemakaian toleransi geometri belum diterapkan.

Sebagai contoh pencantuman datum pada gambar teknik mesin baru dapat dilihat pada gambar 4, dimana pencantuman ini memudahkan bagian kontrol kualitas memverifikasi. Pemakaian datum referensi ini dapat dilihat pula pada Gambar 5. Tanpa memberikan datum referensi, dalam contoh Gambar 5 adalah bidang A dan bidang B, Gambar 5(a) akan menimbulkan keraguan atau ambigu bagi bagian kontrol kualitas dalam pengukuran karena ada 2 kemungkinan datum yang bisa dipakai yaitu bidang A atau bidang B sebagai referensi pengukuran.

Sedangkan dengan memberikan datum dengan salah satu bidang maka cara pengukuran menjadi jelas, yaitu memakai bidang A dengan kondisi seperti gambar 5 (b) atau bidang B dengan hasil seperti Gambar 5(c). Gambar 4 dan Gambar 5 memberikan contoh yang sederhana, dalam kenyataannya pengertian tentang toleransi geometri dan pemakaiannya bersama toleransi linier tidak sesederhana seperti contoh-contoh ini.

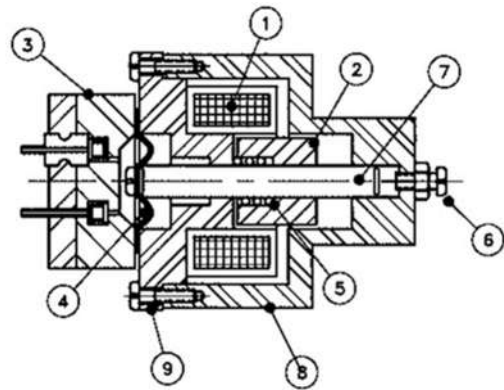


Gambar 5. Makna datum pada gambar: a) gambar teknik tanpa datum dapat menimbulkan keraguan dalam mengukur (ambigu), b) gambar diartikan dengan bidang A sebagai datum, c) gambar diartikan dengan bidang B sebagai datum.

Desain yang agak kompleks, misalnya solenoid pump pada Gambar 6, dengan dua komponen yang berpasangan dapat menunjukkan contoh pemakaian toleransi geometri.

Produk-produk industri mesin pada saat ini, sesuai dengan tuntutan kualitas dan kompleksitas komponen mesin serta pemakaian material baru yang memerlukan proses-proses produksi baru yang perlu diketahui dan dipelajari, perlu menjadi perhatian kita dalam pengajaran atau perkuliahan di teknik mesin. Perkembangan bidang elektronik dan pemakaiannya di teknik mesin, kita kenal sebagai mekatronika yang penting dalam otomatisasi mesin dan digitalisasi dalam proses produksi dan pengukuran dimensi dan geometri juga merupakan pen-

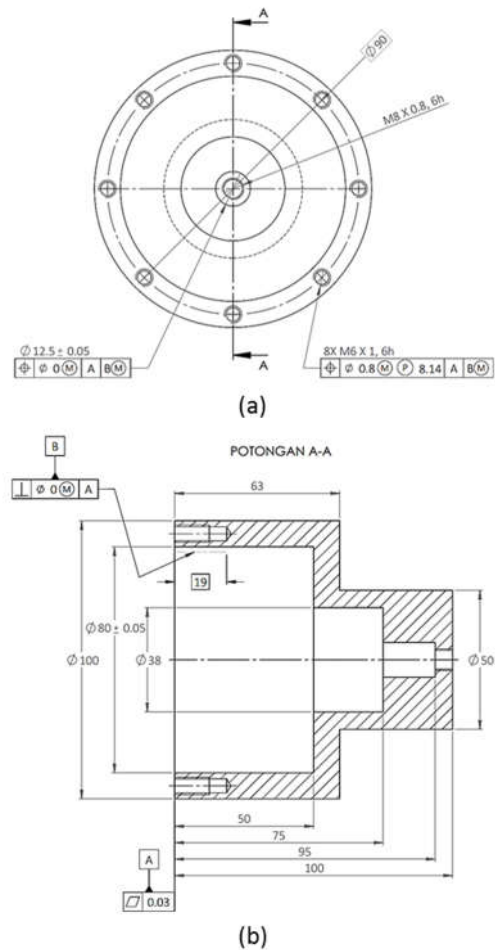
orong dalam perkembangan pemakaian toleransi geometri.



Gambar 6. Ilustrasi Pompa Solenoid

Berikut adalah komponen-komponen pada gambar assembling pompa:

- | | |
|------------------------|--------------|
| 1. Solenoid Coil | 6. Screw |
| 2. Movable Iron Core | 7. Rod |
| 3. Hydraulic loop assy | 8. Pump Body |
| 4. Diaphragm | 9. Endcap |
| 5. Spring | |

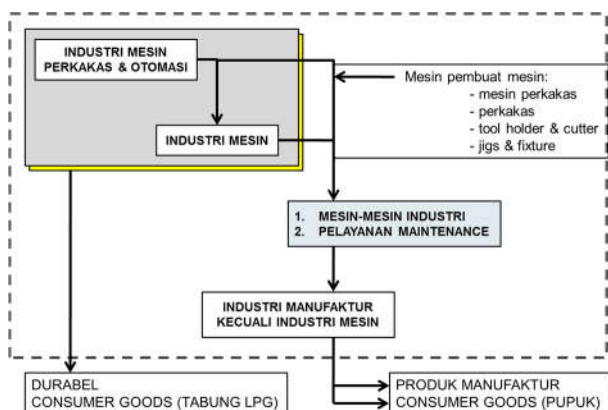


Gambar 7. Pump Body: a)Tampak depan, b) Potongan A-A

Industri Mesin bagian dari Industri Manufaktur

Industri mesin dikenal secara internasional dengan istilah *'engineering industri'*. Seluruh aspek standarisasi dipakai dalam industri ini. Posisi industri mesin dalam konteks industri manufaktur secara luas, ditunjukkan dalam Gambar 8. Industri mesin selain menghasilkan produk-produk yang langsung ke konsumen, juga berfungsi sebagai industri yang menghasilkan mesin dan peralatan pabrik bagi industri manufaktur secara luas termasuk di dalamnya industri mesin itu sendiri yang dikenal sebagai industri mesin perkakas dan perkakas. Perkakas meliputi mould & dies, cutting tool & tool holder, dan jig & fixture, masing-masing merupakan industri khusus.

Industri mesin perkakas dan perkakas ini masih sangat terbatas kehadirannya dalam industri mesin di Indonesia. Hal ini merupakan kendala yang cukup serius dalam pengembangan industri manufaktur umumnya, dan industri mesin khususnya, karena pengadaannya menjadi lama dan mahal. Industri mesin pada saat ini masih sangat lemah, dan dengan demikian perannya sebagai penyedia pelayanan *'maintenance'* bagi industri manufaktur tidak secara maksimal terpenuhi.



Gambar 8. Posisi dan peran industri mesin dalam industri manufaktur

Standar merupakan salah satu komponen infrastruktur industri mesin, dimulai dari saat produk dirancang, dimana rancangan ini dituangkan dalam gambar teknik yang harus dimengerti bukan hanya oleh bagian produksi, tetapi hampir oleh semua bagian dari organisasi perusahaan yang bersangkutan. Gambar teknik merupakan bahasa yang dipakai di dalam lingkup perusahaan industri. Disamping itu, beberapa standar merupakan komponen komunikasi dengan rekanan dan pelanggan. Secara luas standar sebagai alat komunikasi ini telah ditunjukkan pada Gambar 1. Rekanan disini tersurat dalam *'supplier'* dan sub-kontraktor bila perusahaan membagikan sebagian kegiatan manufakturnya ke perusahaan lain. Sedangkan *'business*

relation' dimaksudkan untuk kontraktor utama apabila perusahaan menjadi sub-kontraktor, pelanggan (*customer*), serta pembeli lainnya.

Gambar teknik adalah bahasa karena merupakan alat komunikasi terutama antara perancang, pelaksana produksi dan pelaksana kontrol kualitas. Gambar teknik sangat esensial dalam pengembangan produk industri mesin, namun demikian dalam prakteknya gambar teknik masih dapat dianggap primitif atau jauh tertinggal bila dibandingkan dengan pemanfaatannya di dunia industri internasional. Pembinaan pengetahuan gambar teknik, baik di industri maupun di lingkungan pendidikan masih minim, dan dapat dikatakan terabaikan.

Produktivitas di Industri Mesin

Industri mesin merupakan kelompok industri dengan ketergantungan antara satu dan lain, dalam arti tidak ada satu industri dapat berdiri sendiri tanpa bekerjasama dengan industri lainnya. Kerjasama tersebut akan menghemat investasi dan mengarahkan industri untuk memproduksi produk khusus atau spesialisasi dalam suatu produksi. Sudah bukan masanya lagi suatu pabrik mesin membuat seluruh komponen produk yang diperlukan secara mandiri. Terlebih bila komponen produk yang dibutuhkan bervariasi dalam jumlah yang besar.

Bila semua komponen yang dibutuhkan diproduksi secara mandiri, maka akan diperlukan bermacam-macam jenis proses dengan mesin yang beragam pula. Investasi mesin dan peralatan produksi akan memerlukan biaya besar, demikian pula dengan jumlah tenaga operator alat dan mesin yang besar. Utilisasi peralatan produksi yang ada umumnya menjadi tidak besar. Akhirnya biaya produksi per unit produk akan menjadi tinggi, hal ini menandakan produktivitas produksi yang rendah. Kondisi seperti ini sudah lama ditinggalkan karena akan menghasilkan produk tidak kompetitif.

Perusahaan internasional seperti pada industri pesawat terbang, membentuk komunitas industri komponen pendukung dalam jumlah ratusan bahkan ribuan. Demikian pula perusahaan-perusahaan pada industri otomotif. Komunitas industri semacam ini membuka jalan timbulnya industri pendukung pemasok sub-komponen, dan industri sub-komponen tersebut dapat pula membentuk industri komponen khususnya lagi. Dengan demikian akan timbul industri komponen khusus dengan produksi komponen tertentu dalam jumlah produksi yang besar.

Produksi komponen dalam jumlah yang besar membutuhkan cara produksi dengan bantuan mesin otomatis yang dapat menghasilkan produk secara massal. Jika ditinjau dari usaha standarisasi maka terjadilah apa yang dimaksud dalam *'pembatasan*

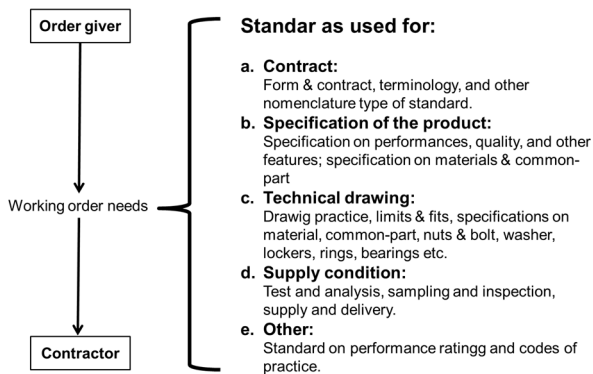
varitas produk' yang dapat memacu terjadinya produksi massal. Pembatasan varitas ini membuat produk menjadi lebih murah (lihat Gambar 9).



Gambar 9. Pembatasan Varitas Produk

Dengan kondisi kerjasama produksi semacam ini akan kercipta komunitas produksi yang saling terhubung secara business dan menciptakan hubungan sub-kontrak dalam berproduksi. Kondisi ini dapat menciptakan hubungan saling menguntungkan apabila dapat dikelola secara baik. Pembinaan dari asosiasi industri sangat diperlukan, bila perlu dengan pengawasan dan pembinaan otoritas yang dipercaya, bisa pemerintah atau badan yang ditunjuk dan disetujui bersama.

Dalam kerja sama sub-kontrak semacam ini diperlukan prosedur baku yang mengatur kewajiban masing-masing pihak. Standar diperlukan, mulai dari kontrak kerja, persetujuan spesifikasi produk yang tercantum dalam gambar teknik, kondisi penyerahan produk dari pembuat ke pemberi order, dan lain-lain aspek standar untuk memperlancar hubungan kedua belah pihak seperti yang diperlihatkan pada gambar 10.



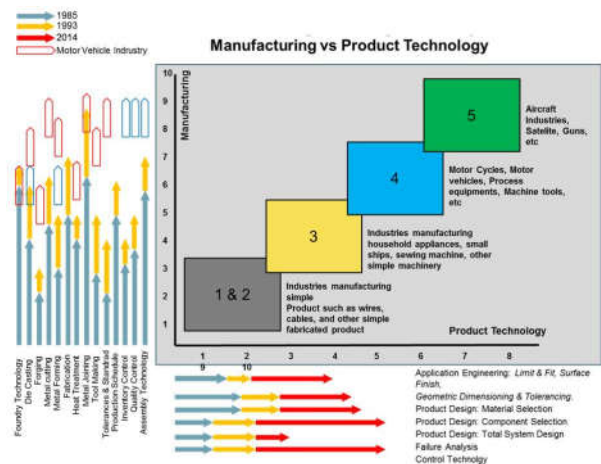
Gambar 10. Peruntukkan standar

Produksi secara seri yang membuat produk dalam jumlah besar dan cepat telah lama dilakukan dalam memproduksi senjata oleh Whitney untuk Pemerintah Amerika Serikat sewaktu memerangi suku Indian. Disusul dengan studi-studi yang ada, seperti pembuatan mobil Ford, pesawat terbang oleh

Wright bersaudara, pembuatan kapal yang di analisa oleh Mutuura di Jepang.

Kondisi di Industri Mesin

Industri mesin di Indonesia pada saat ini belum dapat dibanggakan, ditinjau dari segi jenis produk yang dihasilkan baik dalam jumlah maupun kualitas. Produk-produk industri mesin kebanyakan masih dibuat atas dasar lisensi. Hal ini menandakan bahwa kemampuan atau penguasaan pengetahuan tentang teknologi produk masih lemah. Kondisi yang agak menggembirakan adalah penguasaan teknologi manufaktur yang relatif lebih tinggi dari penguasaan teknologi produk. Meskipun demikian sebagian unit produksi dari beberapa cabang industri ini, khususnya dalam industri otomotif, masih banyak mendapatkan supervisi tenaga asing. Untuk melihat secara umum keadaan tingkat penguasaan teknologi produk dan teknologi manufaktur ini disajikan Gambar 11.



Gambar 11. Penguasaan teknologi di industri mesin

Gambar di atas diambil dari hasil studi yang dilakukan oleh tim bantuan dari Bank Dunia kepada Pemerintah Indonesia dalam upaya pembangunan industri. Studi dilakukan sekitar 2 tahun dan laporan diterbitkan pada tahun 1985. Studi ini menyangkut tingkat penguasaan teknologi, yang sebelumnya telah pula kami studi lewat kerjasama ITB dengan tiga Universitas Teknik Belanda. Gambar di atas didasarkan pada laporan hasil studi Bank Dunia, yang aslinya menggambarkan tingkat penguasaan teknologi industri mesin, diluar industri dalam lingkungan BUMNIS (Badan Usaha Milik Negara Industri Strategis), seperti tidak termasuk PT.IPTN, PT. PINDAD, PT.PAL, PT. Krakatau Steel, dan PT. INKA. Pada saat itu penguasaan teknologi produk tidak lebih dari 2 pada skala sempurna 10, yang mana meliputi kemampuan perancangan produk pada industri manufaktur produk sederhana (kategori 1 & 2) saja. Sedangkan teknologi produksi yang telah dikuasai menunjukkan skala lebih tinggi

dimana untuk beberapa proses telah mencapai skala 6. Kecuali untuk industri otomotif yang mana telah menguasai teknologi proses tertentu pada tingkat lebih tinggi. Yaitu tingkat 9 untuk *inventory control*, *quality*, dan *assembly* dan tingkat 6-7 untuk *foundry*, dan *metal joining*. Gambaran kondisi penguasaan teknologi ini kami pakai untuk memperkirakan penguasaan teknologi produk pada tahun 1993, warna kuning, sedangkan warna merah adalah perkiraan kami pada tahun 2014. Sedangkan penilaian kami pada saat ini penguasaan teknologi manufaktur masih pada daerah kuning kecuali untuk industri otomotif yang relatif lebih maju dari industri lainnya.

Studi lain yang dapat kami sebutkan adalah studi ITB dengan pelaksana Jurusan Teknik Mesin bersama Jurusan Teknik Industri dengan bekerja sama dengan T.U. Twente, T.U. Eindhoven, dan Universitiet Utrech, di bawah naungan NUFFIC (*Netherlands University Federation for International Cooperation*). Kerjasama dilaksanakan dari 1971 s/d 1976 dengan judul studi: *Application of modern management methods and improvement of production methods in the Indonesian metal industry*. Secara ringkas hasil studi/ riset bersama ini dapat disimpulkan sebagai berikut: Pemakaian standar di industri mesin belum dirasakan. Sebagai contoh dalam pembuatan produk dengan spesifikasi yang sama dengan mesin bubut pada 5 pabrik mesin Indonesia dan satu pabrik pembandingnya di Belanda pada mesin bubut dapat dikatakan standarisasi hampir tidak dilakukan atau belun ada yang melakukan di Indonesia.

Produktivitas sangat rendah. Produktivitas industri mesin Indonesia hanya sebesar antara 12 % -32 % dari industri serupa di Belanda untuk tenaga kerja. Sedangkan secara '*total productivity*' angkanya lebih tinggi yaitu antara 40 % sampai 70 % bila dibandingkan dengan pembandingnya perusahaan Belanda tersebut. Angka-angka ini ternyata lebih tinggi dari angka tingkat produktivitas industri Indonesia, dimana secara rerata angkanya hanya 1,5 % menurut data statistic yang ada pada saat itu. Perbedaan yang sangat besar ini menimbulkan pertanyaan-pertanyaan yang sulit untuk dijawab karena keterbatasan waktu, data, dan sumber dana untuk melanjutkan studi lebih lanjut. Studi dari Bank Dunia kami perkirakan lebih relevan asilnya karena melibatkan banyak tenaga ahli disertai dukungan dana yang besar, disamping lebih terbukanya industri berpartisipasi karena studi ini merupakan studi yang didukung penuh oleh Pemerintah R.I.

Untuk mengetahui tingkat produktivitas industri saat ini adalah merupakan tugas bagi generasi saat ini. Keadaan sudah sangat berbeda dengan keadaan

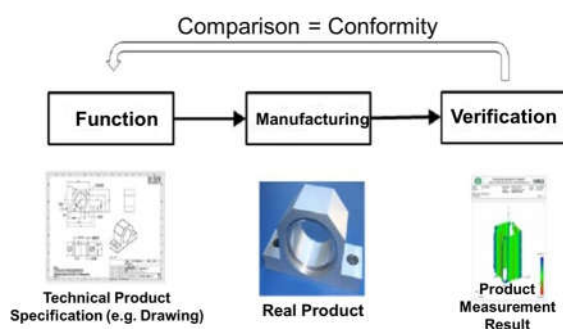
tahun 70an dan 80an. BUMN yang bergerak pada industri mesin saat itu dapat dikatakan sudah mengecil, seperti PT. Barata, PT. Boma Bisma Indra.

Mesin-mesin perkakas saat ini sudah jauh lebih produktif dan dikendalikan dengan CNC dan membentuk mesin perkakas hibrida, dimana kombinasi *turning-drilling-milling* proses dapat dilakukan pada satu mesin. Bahkan proses grinding ataupun *finishing* lainnya dapat ditambahkan pula. Mesin-mesin semacam ini dapat menghasilkan produk dengan presisi tinggi dan dengan konsistensi yang tinggi pula. Sedangkan teknologi pengukuran secara digital mendukung tuntutan pengendalian ketelitian produk yang dihasilkan pula. Kondisi ini membawa efek lain didalam teknologi manufaktur produk-produk industri mesin yang ditandai dengan kualitas dan reliabilitas yang tinggi pada produk yang dihasilkan. Kembali melihat tingkatan teknologi, baik teknologi produk maupun teknologi manufaktur pada Gambar 11, produk yang termuat dalam kategori 4 dan 5, mengalami peningkatan kualitas performa yang semakin tinggi pula, sejalan dengan perkembangan material yang lebih kuat namun ringan. Proses-proses baru dengan kepresisian tinggi bermunculan dan didukung kecanggihan peralatan produksinya. Proses terlahirnya produk saat ini dengan cepat terjadi sesuai dengan tuntutan, dan hal ini dapat terealisasi berkat teknologi digital yang telah merambah kedalam teknologi produk maupun teknologi produksi dan digitalisasi teknik pengukurannya, sehingga proses verifikasi kesesuaian antara desain produk dengan hasil pembuatannya dapat dengan cepat dilakukan.

Desain, Manufaktur, Verifikasi

Perancang produk, dimana tanggung jawab utamanya adalah mendesain produk sesuai dengan fungsi yang dirancangnya, harus menguasai teknologi produk, dimana selain kompeten tentang material, penerapan teknik pemberian ukuran, toleransi, kualitas permukaan, dan suaian, juga haruslah diketahui. Disamping itu pengetahuan tentang produk umum (*vendor parts*), sistem rakitan, analisa kerusakan dan sistem kendali harus pula dimiliki. Demikian pula pengetahuan umum proses produksi dan control kualitas sebaiknya dimengerti pula sehingga desain yang dihasilkan berterproseskan oleh bagian produksi. Sebelum desain produk diserahkan ke bagian produksi, desain perlu dikonsultasikan dengan bagian produksi agar kemampuan proses produksi dan bagian control kualitas yakin dapat merealisasikan pembuatan produk sesuai dengan spesifikasi geometri produk yang dirancang. Dengan majunya teknik pengukuran dimensi dan bentuk yang

semakin kompleks saat ini pengukuran dapat dilakukan dengan cepat. Dengan demikian produk pertama dapat diverifikasi kebenarannya dengan cepat pula. Ada dua kemungkinan hasil verifikasi ini, yaitu sesuai dengan spesifikasi produk atau terjadi penyimpangan. Dengan demikian perlu terjadi interaksi antara ‘desain–manufaktur–verifikasi’ disingkat D-M-V. Hasil verifikasi, yang dilakukan di bagian pengukuran menjadi umpan balik ke bagian perancangan (enjiniring) maupun ke bagian manufaktur. Gambar 12 menunjukkan siklus proses D-M-V ini.



Gambar 12. Siklus perjalanan proses verifikasi produk dari desain – manufaktur – verifikasi dan kesesuaian (conformity)

Dalam kenyataannya proses D-M-V ini tidak sederhana dan semudah seperti ditunjukkan dalam gambar 12. Proses D-M-V ini perlu perangkat pendukung sesuai dengan tuntutan kompleksitas desain, perkembangan teknik manufaktur, dan teknik pengukuran. Perangkat yang dimaksud adalah kumpulan standar gambar teknik mesin dan perkembangan kompleksitas spesifikasi toleransi, bentuk, posisi dan ketelitian yang secara konsensus internasional telah disetujui. Perkembangan ini, dikenal sebagai ‘geometrical product specification’ disingkat ‘GPS’, sehingga menjadikan standar-standar yang telah terkumpulkan seperti dirasa belum mencukupi. Untuk memenuhi perkembangan tuntutan kualitas, dan mendukung perdagangan produk industri mesin secara global/ internasional maka ISO standar perlu ditambahkan lagi untuk mendukung pengertian dan pemakaian ‘GPS’. Bila kita telaah lebih lanjut daftar standar ISO yang kami perkirakan dapat mendukung ‘GPS’ dapat dilihat daftar “ISO – Technical Product Specification”. Pemakaian ISO – Technical Product Specification ini meliputi hampir seluruh standar yang tercantum dalam ISO – Technical Drawing – Mechanical Technical Drawing ditambah dengan standar proses produksi non-konvensional dan standar pengukuran sebagai alat verifikasinya serta standar yang menyangkut geometri roda-gigi yang memerlukan teknik pengukuran yang kompleks.

Peran dan Kondisi Pendidikan Sarjana Teknik Mesin

Desain, manufaktur dan verifikasi memegang peran penting dalam suatu proses pengembangan produk. Pembuatan spesifikasi dan metoda verifikasi sangat bergantung pada standar yang berlaku dimana standar tersebut akan terus berkembang mengikuti kemajuan teknologi, khususnya perkembangan teknologi bidang pengukuran, pengetesan, instrumentasi dan digitalisasi. Standar terus berkembang baik dari segi jumlah standar ataupun kedalaman materi yang tercakup dalam standar tersebut.

Perguruan tinggi teknik mesin yang menghasilkan sumber daya manusia pelaku proses pengembangan produk hendaknya mengacu standar yang terbaru sehingga sdm yang dihasilkan dapat dengan cepat beradaptasi dan berperan pada proses pengembangan produk, khususnya pada tahap pembangunan spesifikasi, pembuatan dan verifikasi. Mata kuliah yang berkaitan dengan proses pembuatan spesifikasi dan verifikasi geometrik pada umumnya diberikan dalam mata kuliah gambar teknik, gambar mesin dan metrologi industri.

Situasi yang memprihatinkan terjadi pada perguruan tinggi teknik di Indonesia, dimana perguruan tinggi tersebut masih mengacu pada standar yang lama dan tidak memiliki kemampuan untuk memperbaharui standar-standar yang menjadi acuannya. Sebagai contoh kuliah Gambar Teknik dan Gambar Mesin di FTMD ITB dan di Prodi Teknik Mesin STTNAS masih menggunakan ISO 128 dan ISO 129 dengan versi yang lama. Bahkan beberapa perguruan tinggi masih ada yang mengacu standar gambar tahun 50an (NEN – Standar Belanda atau DIN Standar Jerman). Sebagian kecil perguruan tinggi, misalnya FTMD-ITB, sudah mulai memberikan ISO 286 dan ISO 1101 pada Mata Kuliah Metrologi Industri).

Hal tersebut di atas membawa dampak pada kemampuan nasional dalam mengembangkan produk dari mulai tahap desain hingga produk tersebut jadi dan siap untuk dipasarkan. Pada saat ini proses pengembangan produk cenderung sampai pada tahap purwarupa, tidak banyak produk tersebut yang selanjutnya di produksi secara masal. Kendalanya adalah sedikitnya sumber daya manusia Indonesia yang mampu menyusun spesifikasi produk hingga siap diproduksi, merencanakan dan mengoptimasikan proses produksi (masal) dan melakukan verifikasi produk yang dihasilkan. Tantangan industri modern saat ini tidak dapat terjawab hanya dengan menghasilkan sumber daya manusia dengan mengacu pada standar-standar

yang lama. Sehingga perlu strategi nasional untuk melakukan perubahan dan percepatan.

Prakarsa Solusi

Uraian di atas menggambarkan bahwa, bekal ilmu lulusan teknik mesin belum mencukupi untuk terjun di dunia industri, khususnya dalam desain untuk manufaktur. Sementara itu jumlah lulusan teknik mesin bidang teknik produksi masih dirasa kurang. Usaha perbaikan dan percepatan yang diusulkan adalah sebagai berikut:

- Dibangunnya pusat yang mengikuti perkembangan, serta menangani dan menyebarluaskan pendidikan dan penelitian yang berkaitan dengan GPS untuk menumbuh-kembangkan desainer-desainer produk industri mesin.
- Dibentuknya badan (lembaga) yang khusus mengikuti, mengkaji dan menyebarluaskan, bukan hanya di lingkungan perguruan tinggi tetapi juga di lingkungan industri dan organisasi profesi seperti BKM-PII.
- Memperbanyak perguruan tinggi dengan konsentrasi studi Teknik Manufaktur. Untuk STTNAS, diusulkan dibentuk suatu konsentrasi studi Teknik Manufaktur, yang berada di bawah Prodi Teknik mesin, yang secara khusus diajarkan mengenai GDT dan GPS dan Desain untuk Manufaktur. Untuk melaksanakan rencana tersebut, telah dilakukan kerja sama dengan FTMD ITB, khususnya dengan kelompok Prodi Teknik Produksi.

Daftar Pustaka

- [1] Aroef, M. et al., 1977. Applicability of Modern Production and Management Methods in the Indonesian Metal Industry, Project THD/E/T – 9 ---ITB – Nuffic 4143. Final Report.
- [2] Wirjomartono, S.H., 1979. The influence of standardization on productivity of the engineering industry of Indonesia, Desertasi Doktorat, ITB.
- [3] Ministry of Industry, Direktorat General of Machinery and Basic metal Industry, Engineering Subsector Study, 1985.
- [4] ISO Standards Technical Drawing–Mechanical Engineering Drawing. (65 Standards).
- [5] ISO Technical Product Specification (TPS).
- [6] Bianca M. Colosomo & Nicola Senin, 2011. Geometric Tolerances – Impact on Product Design, Quality Inspection and Statistical Process Monitoring. ISBN 978-1-84996-310-7. Springer Verlag Ltd., London.
- [7] Robert G.C. and Edward S.R., 2003. Integrated product design and manufacturing using dimensioning and tolerancing, Marcel Dekker AG. Basel, Switzerland.
- [8] Groeger, S., 2013. Funktionsgerechte spezifikation geometrischer eigenschaften mit dem system der geometrischen produkspezifikation und verifikation, Doktoringenieur habilitatus, Technische Universitaet Chemnitz, Germany.