

Penerapan *Lean Manufacturing* untuk Perbaikan Proses Inspeksi di Area *Coordinate Measuring Machine*

Implementation of Lean Manufacturing to Improve the Inspection Process in the Coordinate Measuring Machine

Rizky Herdyan Suherman^{1*}, Catharina Badra Nawangpalupi²

^{1,2}Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

*Penulis korespondensi: Rizky Hedyan Suherman, 8131901001@student.unpar.ac.id

Abstrak

Jurnal ini adalah hasil studi kasus yang dilakukan di industri pesawat terbang dengan tujuan memperbaiki proses inspeksi yang memiliki permasalahan yaitu *lead time* yang tinggi dan *utilization* yang rendah. Implementasi kombinasi antara *lean manufacturing* dan *inspection plan* di area *coordinate measuring machine* untuk mengurangi *waktu siklus*, *waktu tunggu* dan *idle time mesin* pada saat proses pengukuran. *Lean manufacturing* adalah filosofi *continuous improvement* untuk menghilangkan *waste*, sedangkan *inspection plan* digunakan untuk efektivitas proses inspeksi. Studi kasus ini menggunakan lima prinsip *lean*: *Specify value*, *value stream*, *flow*, *demand pull* dan *created perfection*. *Tools lean* yang digunakan adalah *the cause effect* dan *five whys* digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan, *Value Stream Mapping (VSM)* digunakan untuk mengidentifikasi langkah proses pengukuran, *Single-Minute Exchange of Die (SMED)* dapat digunakan pada saat *setup* untuk mengurangi pemborosan dan meningkatkan *value*, *utilization* digunakan untuk mengukur kinerja peralatan dan *inspection plan* dapat membantu proses inspeksi yang efisien pada saat operator melakukan *setup*. Hasil implementasi saat ini menunjukkan bahwa *waktu siklus* berkurang 33 %, *utilization mesin* dan operator yang pada awal kurang dari 60% meningkat menjadi 81% untuk *utilization mesin* dan 84 % untuk *utilization operator*.

Kata kunci: CMM, *inspection plan*, *lean*, *waktu siklus*, *waktu tunggu*

How to Cite:

Suherman, R.H. and Nawangpalupi, C.B. (2023) 'Penerapan Lean Manufacturing untuk perbaikan proses inspeksi di area Coordinate Measuring Machine', *Journal of Integrated System*, 6(1), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.28932/jis.v6i1.6159>.

© 2023 Journal of Integrated System. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. 

Abstract

This paper is the result of a case study in the aircraft industry. The objective is to improve an inspection process with the problem of having high lead time and low utilization. Implementation of an integrated lean manufacturing and inspection plan at the CMM area to reduce cycle time and waiting time in the inspection process. Lean manufacturing is a philosophy of continuous improvement to eliminate waste, while an inspection plan is designed to the effectiveness of an inspection process. The study uses five principles of lean: Specify a value, value stream, flow, demand-pull, and created perfection. The application tools lean start from the cause-effect and five whys can be used to identify waste, Value Stream Mapping (VSM) can be used to identify steps of the inspection process, Single-Minute Exchange of Die (SMED) technique can be used to setup operations for reducing waste and increasing value, utilization used to measure the performance of equipment and inspection plan can efficient inspection process for help the operator to setup operations. The current implementation results show that the cycle time is reduced by 33 %, utilization of machines increases from less than 60% to 81%, and utilization of operators increases from less than 60% to 84%.

Keywords: CMM, cycle time, inspection plan, lean, waiting time

1. Pendahuluan

Industri manufaktur pesawat terbang semakin berkembang dan konsumen mengharapkan produk yang berkualitas dengan pengiriman yang tepat waktu. Tuntutan konsumen yang meningkat tersebut menjadikan PT XYZ untuk dapat beradaptasi dan melakukan perbaikan. Penyebab hilangnya kesempatan untuk bersaing adalah *cycle time* yang tinggi pada setiap proses, yang mengakibatkan pengiriman terlambat. Proses inspeksi menjadi salah satu proses yang memiliki *cycle time* yang tinggi karena bertujuan menjamin *product* sesuai dengan *requirement customer*.

Salah satu proses inspeksi yang dilakukan di PT XYZ adalah dengan menggunakan mesin CMM (*Coordinate Measuring Machine*) untuk melakukan pengukuran *contour part*, toleransi geometri dan *layout*. CMM (*Coordinate Measuring Machine*) adalah *equipment* yang digunakan untuk melakukan inspeksi *part*, yang memiliki prinsip kerja yang sama dengan mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Persamaan antara kedua mesin tersebut yaitu menggunakan gerakan otomatis dengan menggunakan *numerical control* dan memiliki perbedaan yaitu mesin CMM digunakan untuk proses inspeksi *part* sedangkan mesin CNC digunakan untuk proses manufaktur.

Pada area CMM dibagi menjadi dua bagian yaitu CMM *programmer* dan CMM operator. CMM *programmer* bertugas untuk membuat program pengukuran *part/komponen* sesuai dengan *requirement*, sedangkan CMM operator bertugas untuk mengoperasikan mesin CMM, mengisi DIR (*Dimension Inspection Record*) & membuat *report* apabila terjadi ketidaksesuaian. Pengukuran dengan menggunakan *Coordinate Measuring Machine* (CMM) dilakukan untuk memastikan *part* yang dibuat mempunyai bentuk dan dimensi yang sesuai dengan *requirement (drawing, Computer Aided Design (CAD) & specification)*.

Proses *improvement* dengan pendekatan *lean manufacturing* mempunyai keunggulan yaitu meningkatkan nilai/*value* terhadap *shareholder*, meningkatkan *speed*, kepuasan konsumen dan mengurangi *cost*. Keuntungan yang didapat apabila menerapkan *lean manufacturing* adalah meyakinkan *service/product* sesuai dengan yang dibutuhkan oleh konsumen, menghilangkan kegiatan *non-value*, *cycle time* menjadi singkat dan *delivery* tepat waktu. Pada penelitian sebelumnya digunakan pendekatan menggunakan metode *lean* untuk menyelesaikan permasalahan seperti *service process* yang tinggi, terdapat banyak proses yang *complex*, banyak *part* dengan status “*work in progress*” yang dapat meningkatkan *waiting time*, menambah *non-value cost*, 80% *delay* dan hanya 20% aktivitas *value*. Selain *lean* pada

penelitian ini menggunakan *inspection plan* untuk memperbaiki proses inspeksi. Karena dengan menggunakan *inspection plan* proses menjadi lebih efisien dan efektif karena dapat membantu CMM operator mengurangi aktivitas yang tidak produktif.

Kombinasi antara *lean* dan *inspection plan* digunakan untuk memperbaiki proses pengukuran yang dilakukan di area CMM. Metode *lean* dipilih karena pada penelitian yang dilakukan oleh Randhawa dan Ahuja (2017) *lean* dapat menyelesaikan permasalahan yang disebabkan oleh *change over*. Permasalahan tersebut menyebabkan *downtime* yang tinggi yaitu 40% sampai 60%. Pada penelitian tersebut waktu yang dibutuhkan untuk proses *trimming* setiap *part* adalah 120 menit dan *changeover* yang dibutuhkan adalah sekitar 48 sampai 72 menit. *Implementasi lean* juga dilakukan oleh Kennedy, Plunkett, dan Haider (2013) pada industri makanan dengan permasalahan yang disebabkan oleh pemborosan yang berasal dari *raw material*, *motion*, konsumsi air, listrik, dan tingginya *downtime* mesin yang disebabkan oleh *changeover*. Perbaikan dengan menggunakan pendekatan metode *lean* fokus terhadap aktivitas yang dilakukan oleh operator dan selanjutnya untuk memperbaiki proses inspeksi adalah dengan menggunakan *inspection plan*.

CMM adalah mesin *powerful* yang digunakan untuk pengukuran dimensi dan toleransi *geometric*. Penggunaan CMM mempunyai keunggulan yaitu dapat mengurangi waktu dan biaya dibandingkan dengan pengukuran manual. *Inspection plan* digunakan untuk mendapatkan pengukuran yang lebih efektif dengan melakukan integrasi antara CAD, CAIP dan *system* yang terdapat pada CMM seperti *part setup*, *measuring point* dan *accessibility analysis* (Kamrani *et al.*, 2015). *Inspection plan* yang sudah diimplementasikan oleh Hwang, Tsai, dan Chang (2004) pada proses inspeksi menggunakan mesin CMM dengan mempertimbangkan faktor *part setup*, perubahan *probe*, perpindahan *probe* yang minimum pada saat proses pengukuran. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah menurunkan *cycle time* yang pada awalnya membutuhkan waktu 39 menit menjadi 16 menit dan *part setup* yang pada awalnya membutuhkan 3 posisi dapat dikurangi menjadi 1 posisi selain itu dapat mengurangi perpindahan *probe* yang pada awalnya membutuhkan 64 detik menjadi 21 detik.

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai *lean* dan *inspection plan* yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *cycle time* yang tinggi. Dibutuhkan sistem inspeksi yang baru untuk memperbaiki proses inspeksi di area CMM, maka dari itu rumusan masalah terkait penelitian yang akan dilakukan adalah : Bagaimana penerapan *lean manufacturing* dan *inspection plan* di area Mesin CMM untuk mengurangi pemborosan, khususnya *cycle time*, *waiting time* dan *utilization* yang rendah dan bagaimana perbandingan kondisi awal dan setelah perbaikan terhadap *cycle time*, *waiting time* dan *utilization*?

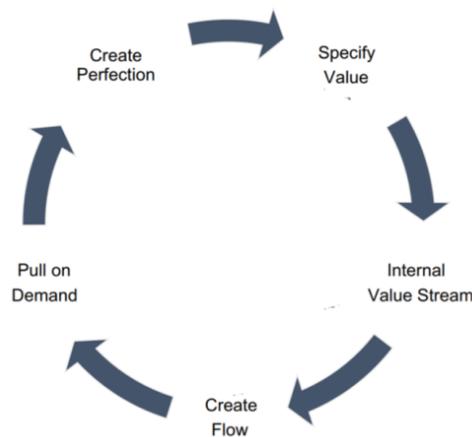
2. Tinjauan Pustaka

2.1 *Lean Manufacturing*

Metode *lean* digunakan untuk menghilangkan pemborosan dalam proses sehingga dapat mengurangi biaya dan meningkatkan produktivitas. Manfaat yang dapat dirasakan setelah menggunakan metode *lean* adalah mengurangi pemborosan *raw material*, mengurangi proses, meningkatkan kinerja, penggunaan infrastruktur/utilisasi yang lebih baik dan mengurangi *lead time*. *Lean* juga didefinisikan sebagai suatu sistem yang bertujuan untuk melakukan produksi dengan tenaga kerja minimum, menggunakan area produksi minimum, mengkonsumsi sumber daya minimum, memegang persediaan pada tingkat minimum, *defect* minimum, memproduksi produk dalam waktu singkat, dan meminimalkan ketidakpuasan pelanggan (Arslankaya dan Atay, 2015).

Metodologi dari *lean* adalah *customer value driven* seperti pada Gambar 1, pendekatan *lean* pada manufaktur menurut penelitian Thomas *et al.* (2016) dapat mengurangi waktu proses dengan melakukan implementasi 5 prinsip *lean* manufaktur yaitu:

1. *Specify value*: Menambah *value* dari konsumen.
2. *Value stream analysis*: Mengetahui atau mengerti *value* untuk konsumen, dan selanjutnya mengevaluasi *business process* untuk menentukan kegiatan yang menambah *value*, dan yang tidak menambah *value* dimonitoring atau dihilangkan dari proses.
3. *Created Flow*: Fokus untuk mengatur *flow* dan membuat perencanaan *improvement* pada proses.
4. *Pull on Demand*: Rencana yang sudah dibuat harus sesuai dengan *actual*.
5. *Created Perfection*: Menghilangkan kegiatan yang tidak mempunyai nilai atau *waste*, melakukan *continues improvement*.



Gambar 1. Siklus *lean* (Thomas *et al.*, 2016, p. 3)

Siklus *lean* pada Gambar 1 digunakan pada penelitian Hill *et al* (2018) pada tahap pertama melakukan identifikasi *Critical to Quality* (CTQ). Tahap kedua adalah fokus terhadap *internal value stream* untuk identifikasi dampak dari permasalahan yang timbul dan melakukan analisa untuk aktivitas VA dan NVA. Tahap ketiga fokus membuat *flow* baru dengan mencegah permasalahan yang terdapat pada tahap pertama kembali terulang. Pada tahap keempat melakukan perbaikan untuk mengatasi permasalahan yang timbul, seperti: melakukan pelatihan kepada *staff* baru, merubah komposisi dari *team* dan menerapkan pengawasan untuk *staff* baru. Pada tahap kelima melakukan identifikasi terhadap target yang ditentukan dengan melakukan evaluasi dan *feedback* dari manajemen yang dilakukan pada setiap minggu.

Perbaikan berbasis *lean manufacturing* menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM) yang dapat menunjukkan aktivitas dan mengidentifikasi waktu siklus *setup*, dengan memisahkan kegiatan yang bernilai tambah dengan yang tidak bernilai tambah. VSM menggunakan *symbol*, *metric*, arah untuk aliran dari inventori dan informasi untuk menghasilkan *product* atau *service* yang siap di kirim ke konsumen (Venkataraman *et al.*, 2014).

Konsep dan prosedur untuk implementasi *Value Stream Mapping* (VSM) dan terdapat 5 tahap yang digunakan sebagai *guideline* menurut Nallusamy dan Adil Ahamed (2017) yaitu:

1. Memilih *product* yang mempunyai *characteristic* yang sama.
2. Membuat *current state map* (CSM).
3. Menganalisis dari *waste* dan kemungkinan untuk membuat *improvement*.
4. Membuat *Future state map* (FSM).
5. Membuat *work plan* untuk meraih *Future state map* (FSM).

2.2 Inspection Plan

Pada penelitian Beg dan Shunmugam (2002) faktor yang diperhatikan pada saat pembuatan *inspection plan* adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data yang lengkap sesuai dengan *design* dan *requirement*.
2. Pemilihan orientasi *part* yang dijadikan sebagai *base part*, pemilihan *setup part* yang stabil.
3. Jumlah dan distribusi dari *point*.
4. Pemilihan *feature*.
5. Urutan orientasi posisi *probe*.
6. Pemilihan dari permukaan.

Tahapan pengukuran CMM dengan menggunakan *probe* seperti pada Gambar 2 yaitu: Tahapan awal dengan melakukan *input CAD* yang digunakan sebagai referensi. Pada CAD terdapat informasi yang dibutuhkan seperti toleransi, penentuan datum dan bentuk dari *part*. Tahapan kedua adalah menentukan *features* yang dibutuhkan seperti *hole*, *surface*, *plan* atau *point*. Menentukan *features* referensi, *features* yang diukur, *setup part*, menentukan urutan proses pengukuran dan menentukan *probe*. Tahapan ketiga adalah melakukan *manual mode* oleh operator CMM sesuai *features* yang sudah ditentukan CMM *programmer*. Tahap keempat menggunakan *features* tersebut menjadi *alignment part* untuk merubah *axis* mesin menjadi *axis* pada *part*. Tahapan kelima adalah pengukuran yang dilakukan dengan *numerical control (NC)* sesuai dengan *requirement*. Tahap keenam adalah melakukan analisis pada hasil pengukuran dan tahapan terakhir adalah membuat *report CMM*.



Gambar 2. Basic pengukuran CMM

2.3 Coordinate Measuring Machine (CMM)

Metode *lean manufacturing* dan *inspection plan* adalah kedua metode yang digunakan untuk melakukan *improvement* untuk proses *inspection* pada area CMM. Metode *lean* fokus terhadap CMM operator, sedangkan *inspection plan* fokus pada CMM *programmer*. *Coordinate measuring machine (CMM)* merupakan mesin yang digunakan untuk mengukur *part* dengan presisi dan akurasi yang tinggi. Peningkatan penggunaan mesin CMM karena *design* yang semakin kompleks dan toleransi yang ditetapkan semakin ketat (Nikam, 2018). Keuntungan dari penggunaan CMM adalah

1. *Flexible*, karena CMM dapat mengukur universal dan tidak dipergunakan untuk special inspeksi.
2. Peningkatan akurasi.
3. Mengurangi pengaruh operator, karena menggunakan *probe* dan proses pengukuran menggunakan gerakan NC (*Numerical Control*).
4. Peningkatan produktivitas, karena menggunakan *software/computer* untuk proses analisis.

Inspeksi merupakan proses yang dilakukan untuk memastikan atau menjamin *customer satisfaction* dan produk yang di manufaktur sudah sesuai dengan *requirement*. Aktivitas lain

dari inspeksi adalah membandingkan *part/product* dengan *drawing* atau *key characteristic*. Proses inspeksi yang dilakukan membutuhkan prosedur pengukuran yang bertujuan untuk mendapatkan proses yang efektif dan efisien.

Setiap perusahaan ingin meningkatkan *output* tanpa harus meningkatkan *input* (*manpower*, *cost*, *reduce waste* dan *decrease idle time*) dengan demikian produktivitas harus meningkat dan keuntungan ikut meningkat. Pada industri manufaktur produktivitas *manpower* berpengaruh terhadap produktivitas secara keseluruhan. Ketika meningkatkan produktivitas *manpower* dan mengurangi *lead time* mesin dapat meningkatkan produktivitas secara keseluruhan (Verma dan Gupta, 2021). Proses *setup part* merupakan salah satu faktor untuk meningkatkan produktivitas operator dan mesin. Perbaikan proses *setup* bertujuan untuk menurunkan *cycle time* dan *waiting time*.

SMED adalah *tools* yang digunakan untuk proses *setup part* pada mesin CMM, dalam implementasi dari SMED membagi menjadi 2 aktivitas utama yaitu *internal* dan *eksternal*. Tujuan menggunakan SMED adalah untuk mengurangi, menghilangkan, menggabungkan atau menyederhanakan aktivitas pada saat inspeksi. Setelah mengetahui aktivitas yang mempunyai *value* dan *nonvalue* pada proses pengukuran, selanjutnya *tools* yang digunakan melakukan *improvement* proses atau menghilangkan *waste* adalah dengan menggunakan *kaizen*.

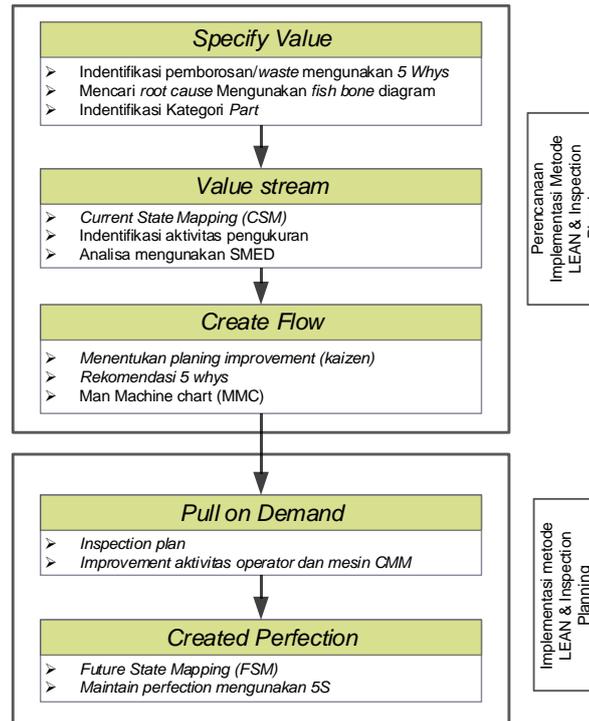
Kaizen bertujuan untuk menghilangkan aktivitas yang tidak menambah *value*, *team* dapat melakukan *brainstorming* untuk mendapatkan ide yang bertujuan meningkatkan proses. Implementasi *kaizen* dilakukan dengan memperbaiki, memperbaharui, dan meningkatkan proses. Rencana *kaizen* tersebut dibuat pada *future state mapping* (FSM), karena menurut Mohan Prasad *et al* (2020) *kaizen* dapat meningkatkan semua aspek perusahaan dengan melakukan aktivitas rutin yang tidak hanya untuk sekedar peningkatan produktivitas, akan tetapi proses memanusiasikan tempat kerja dan menghilangkan kerja yang terlalu berat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Metodologi Penelitian

Tahapan *improvement* yang dilakukan di area CMM menggunakan 5 prinsip *lean* yaitu *spesifik value*, *internal value stream*, *pull on demand*, dan *created perfection*. Tahapan awal yaitu *specific value* dengan melakukan identifikasi *waste*/pemborosan dengan menggunakan *tools fishbone* dan 5 *whys* untuk mengetahui pemborosan secara keseluruhan yang terjadi pada area CMM, kemudian fokus terhadap CMM operator dan CMM programmer. Tahapan kedua adalah *value stream map* digunakan untuk mengetahui aktivitas yang dilakukan pada saat pengukuran yang dilakukan pada area CMM dengan menggunakan *current state mapping*. Tahapan ketiga yaitu *Created flow*, mengetahui pemborosan yang terjadi kemudian membuat *planning* yang harus dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi *waste*. Tahapan keempat adalah *Pull on demand* yaitu melakukan implementasi *planning* dari *alternative* solusi yang digunakan untuk mengurangi *waste*. Tahapan terakhir yaitu *created perfection* dengan membuat *future state mapping* dan *maintain perfection* menggunakan *tools 5S*. Pada Gambar 3 terdapat lima langkah sesuai dengan prinsip *lean* dan tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini.

Integrasi metode *lean* dan *inspection plan* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 2 bagian yaitu perencanaan dan implementasi dari prinsip *lean* yang dikombinasikan dengan *inspection plan*. Pada perencanaan merupakan tahapan awal dalam melakukan implementasi metode *lean* dengan melakukan identifikasi permasalahan dan membuat rencana perbaikan yang dilakukan berdasarkan prinsip 3 *lean* yaitu *specify value*, *value stream* dan *created flow*. Selanjutnya pada implementasi metode *lean* adalah dengan melakukan implementasi berdasarkan rencana yang sudah dibuat berdasarkan 2 prinsip *lean* yaitu *pull on demand* dan *created perfection*.



Gambar 3. Metode lean dan inspection plan

3.2 Prinsip Lean 1: Specify Value

Pada prinsip lean 1 yaitu *specify value* bertujuan untuk mengetahui aktivitas yang menjadi *value* untuk *customer* dengan cara menghilangkan pemborosan yang terjadi, prinsip *lean* yang pertama akan lebih fokus terhadap identifikasi pemborosan. Tahapan yang dilakukan pada prinsip *lean* 1 adalah sebagai berikut.

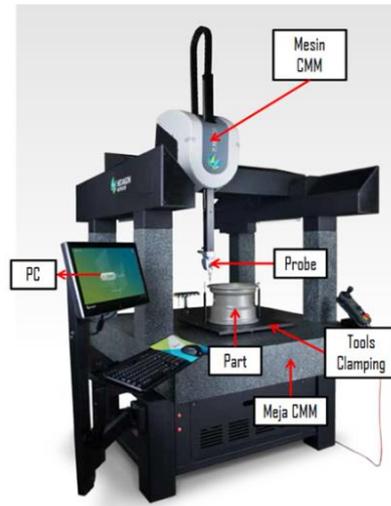
3.2.1 Identifikasi Menggunakan 5 Whys

Pada penelitian Braglia, Frosolini, dan Gallo, (2017) menggunakan metode SWAN (*setup 5why analysis*). Dengan melakukan identifikasi permasalahan berdasarkan mesin, *tools* dan *product*. *5 whys* pada mesin CMM berdasarkan mesin terdapat permasalahan sebagai berikut *waste* pada proses pengukuran di area CMM. *Tools 5why* digunakan untuk memecahkan permasalahan yang terdapat pada proses pengukuran kemudian digunakan untuk identifikasi akar penyebab permasalahan, melakukan rencana perbaikan dan pencegahan. Penggunaan *5 whys* dapat dilihat pada Gambar 4 dengan analisis berdasarkan mesin, *tools* dan *product* sebagai berikut:

1. *Part* yang diukur: *Part* yang diukur di mesin CMM mempunyai variasi yang tinggi dari dimensi dan tingkat kesulitan.
2. *Probe*: *Probe* merupakan sensor yang digunakan pada pengukuran CMM, *probe* dapat berubah posisi karena mempunyai 2 Sudut yaitu A dan B. Hal tersebut bertujuan untuk mencegah *probe* menabrak ke *part* pada saat dilakukan pengukuran. Semakin banyak posisi *probe* yang digunakan, berakibat pada jumlah kalibrasi yang dilakukan.
3. Meja CMM: Meja CMM berukuran besar pemanfaatannya belum optimal untuk melakukan *setup part* pada saat mesin sedang beroperasi.
4. *Tool clamping*: Penggunaan *tool clamping* bertujuan untuk membantu *part* agar tidak bergerak pada saat pengukuran. *Tools* yang terdapat di area CMM adalah *tools standar* dan operator memerlukan waktu yang lama untuk memastikan kelurusan dari *part* agar sesuai dengan *axis* mesin.
5. *Computer*: Penggunaan *computer* mesin menjadi akar permasalahan karena *software* yang digunakan untuk melakukan *collision detect* untuk mencegah *probe* menabrak *part* dan

melihat pergerakan *probe* pada saat pengukuran, selain itu digunakan untuk melakukan evaluasi apabila part terjadi *nonconforming* dan untuk melakukan pengisian DIR. Pada saat *software* digunakan oleh operator untuk melakukan evaluasi, mesin tidak dapat beroperasi dan menyebabkan *downtime* mesin menjadi tinggi.

6. Mesin CMM: Sebelum melakukan pengukuran, *part* harus dilakukan *setting* terlebih dahulu, karena mesin berukuran (4 meter x 6 meter) dan *joystick* berada di area *computer*. Operator harus melakukan aktivitas yang berulang pada saat melakukan *alignment* manual karena harus melakukan *touching* manual pada *part* dan harus memastikan kembali ke monitor untuk mengetahui *point* yang harus disentuh.

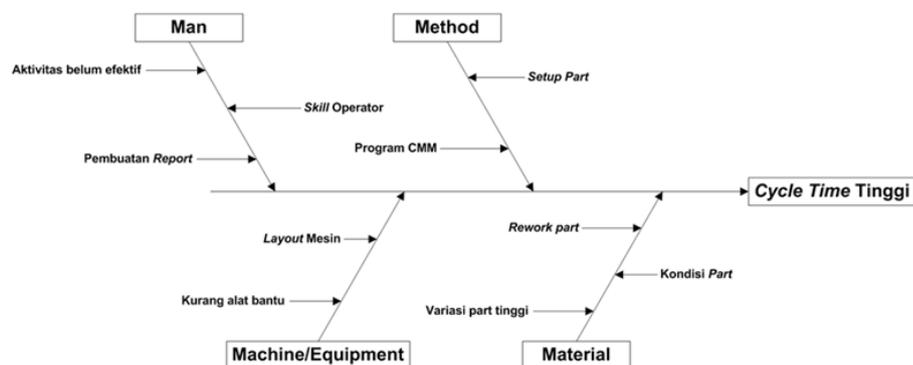


Gambar 4. Analisis permasalahan CMM berdasarkan *Five Whys*

3.2.2 Root Cause (Fishbone Diagram)

Untuk lebih menyeluruh melihat akar penyebab pemborosan menggunakan *fishbone* diagram dengan memperhatikan faktor *man*, *method*, *machine* dan *material*. Pada Gambar 5 adalah permasalahan yang disebabkan *cycle time* yang tinggi di area CMM sebagai berikut.

1. Faktor pertama adalah *man*, disebabkan operator CMM masih melakukan aktivitas yang belum efektif seperti hanya menunggu *part* selesai diukur CMM tanpa melakukan hal yang lain dan menyebabkan *downtime* mesin menjadi tinggi dan *waiting time* menjadi tinggi. Operator tidak dapat mengetahui posisi dari *part* pada saat melakukan *setup*.
2. Faktor kedua adalah metode, pengukuran yang digunakan berasal dari program CMM. Karena pada program CMM mencakup bagaimana pengukuran yang dilakukan, *setup part*, menentukan *point* dan menentukan *probe*.



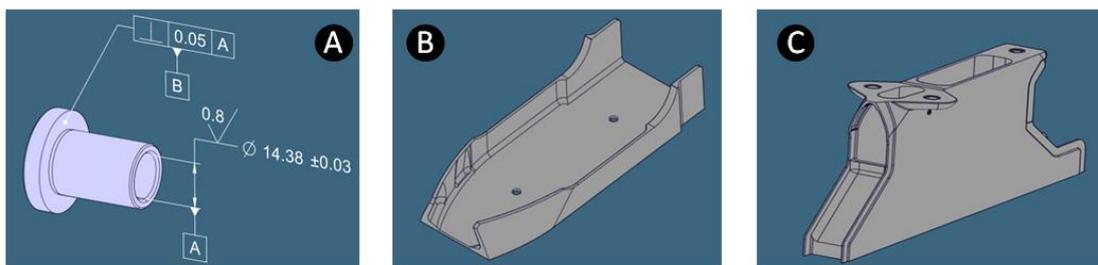
Gambar 5. *Fishbone* diagram permasalahan di area CMM

3. Faktor ketiga adalah faktor mesin, penyebab terjadinya *cycle time* yang tinggi dikarenakan *tools* atau alat bantu yang digunakan untuk melakukan *setup part* adalah *tools* standar. Menggunakan *tools* standar menjadi kelebihan karena penggunaannya dapat digunakan untuk semua *type part* akan tetapi memiliki kekurangan pada saat melakukan *setting part* membutuhkan waktu yang lama karena harus melakukan aktivitas lain seperti mengecek posisi *part* sudah sesuai dengan *axis* mesin.
4. Faktor keempat adalah material, *part* yang diproduksi PT XYZ mempunyai variasi yang tinggi membuat operator harus melakukan *setting part* berulang.

3.2.3 Kategori Part

Pada identifikasi permasalahan yang menyebabkan *cycle time* yang tinggi adalah *part* yang diukur di PT XYZ memproduksi *part* dengan variasi yang tinggi yang menyebabkan operator harus melakukan *setting part* yang berbeda pada saat sebelum melakukan pengukuran. Pada penelitian ini dibagi menjadi 3 kategori dibagi berdasarkan dimensi dan tingkat kesulitan pengukuran dari *part* yaitu

1. *Small part*: terdiri dari *part* yang berukuran kecil dan proses *inspection* pun tidak terlalu membutuhkan perlakuan khusus, karena hanya menggunakan satu posisi *probe* yaitu (0,0) dan pada saat melakukan *setting part* tidak perlu disesuaikan dengan *axis* mesin, seperti pada Gambar 6A.
2. *Medium part*: Terdiri dari *part* yang mempunyai dimensi sedang dan terdapat toleransi *surface profile* karena permukaan terdapat *contour area*, pada *medium part* membutuhkan posisi *probe* yang lebih dari satu. Operator melakukan *setting part* untuk menyesuaikan *part* sesuai dengan *axis* mesin, seperti pada Gambar 6B.
3. *Complex part*: *Part* yang mempunyai dimensi yang besar dan mempunyai banyak toleransi geometri yang harus diukur menggunakan CMM, pada *part complex* pengukuran dilakukan berulang kali karena *part* tersebut harus kembali ke *shop machining* untuk melanjutkan proses *rework* berdasarkan data pengukuran yang berasal dari CMM, seperti Gambar 6C.



Gambar 6. Kategori *part*

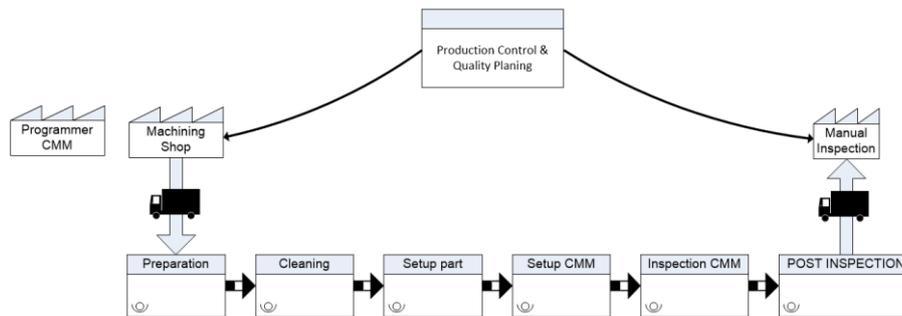
3.3 Prinsip Lean 2: Value Stream

Prinsip kedua *lean* adalah *Value stream* bertujuan untuk mengetahui *value* konsumen dengan melakukan ide perbaikan, melakukan analisis yang akan digunakan untuk menentukan *waste* pada setiap grup aktivitas, mengetahui aktivitas tersebut termasuk kedalam *type* internal atau eksternal dan melakukan analisis *waste* yaitu *waiting time*, *cycle time*, *downtime* mesin CMM. Pada prinsip *lean* tahap kedua lebih fokus melakukan analisis yang menjadi penyebab terjadinya pemborosan. Pada Gambar 7 adalah *current state map* (CSM) pada proses inspeksi.

Aktivitas utama pengukuran CMM terdiri dari

1. *Preparation*: Melakukan pengecekan dokumen sebelum pengukuran untuk memastikan *part* yang diukur sesuai dengan *requirement*, memberikan identifikasi *part* yang diukur dan menyiapkan *equipment* yang dibutuhkan.
2. *Cleaning part*: Memastikan *part* yang diukur dalam keadaan bersih dan dengan kondisi yang ideal untuk diukur. *Part* dalam kondisi yang tidak ideal atau kotor dapat menyebabkan ketidakpastian pengukuran semakin tinggi.

3. *Setup part* dan *handling part*, pada aktivitas grup ketiga terdiri dari 2 jenis pada saat sebelum pengukuran dan setelah pengukuran yaitu *clamping* dan *unclamping part*. Tujuan dari aktivitas grup ini adalah untuk menyesuaikan posisi *part* yang berada di meja CMM sesuai dengan program.
4. *Setup mesin CMM*: pada grup aktivitas ini adalah melakukan *collision detect* untuk mencegah *probe* menabrak pada *part/tools*, melakukan kalibrasi *probe* dan melakukan pengecekan kembali program yang sudah dibuat oleh programmer CMM.
5. Grup aktivitas kelima adalah *Runing CMM* terdiri dari beberapa aktivitas yang dilakukan yaitu *alignment manual*, *alignment* dan pengukuran dengan menggunakan NC (*Numerical Control*) mode. *Alignment* manual dibutuhkan untuk memindahkan *axis* mesin menjadi *axis part*, pengecekan posisi *probe* juga faktor yang penting karena mencegah pada saat pergantian *probe* dapat menabrak ke *part* yang dapat mengakibatkan *probe* mengalami kerusakan dan memastikan posisi *probe* sesuai dengan *vector* dari *surface part*, dan pengecekan *report part*.
6. Aktivitas grup yang terakhir adalah grup *post inspection*, hal yang dilakukan adalah memastikan mesin dalam kondisi baik pada saat setelah proses pengukuran. Melakukan aktivitas perawatan mesin agar mesin tetap dalam kondisi yang ideal untuk melakukan pengukuran dan melakukan pengisian form DIR (*Dimension Inspection record*).



Gambar 7. Value Stream Map (CSM) pada proses inspeksi

Tabel 1. Grup aktivitas

No	Grup Aktivitas	<i>Eliminate</i>	<i>Convert</i>	<i>Combine</i>	<i>Simplify</i>	Tipe Aktivitas
1	<i>Preparation</i>	N	P	P	N	Internal
2	<i>Cleaning</i>	P	P	P	N	Internal
3	<i>Setup part & Handling part</i>	N	P	P	N	Internal
4	<i>Setup mesin</i>	N	P	P	N	Internal
5	<i>Running Program</i>	N	N	N	N	Internal
6	<i>Post</i>	N	N	P	N	Internal

N = No, P = Possible

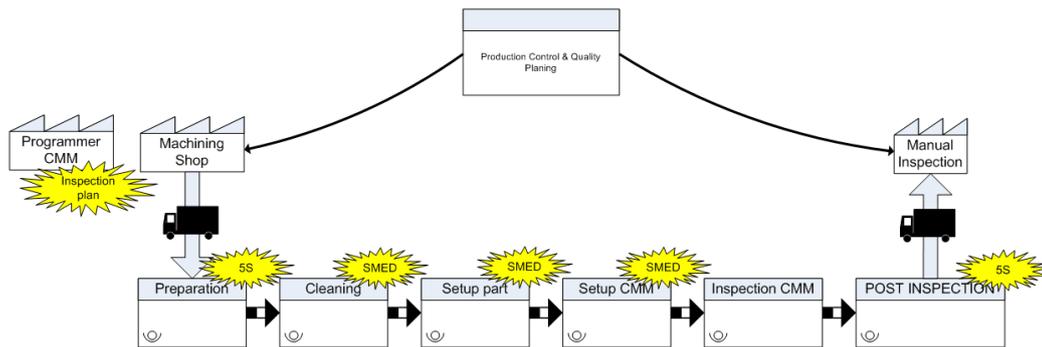
Seperti pada Tabel 1 dapat dilihat semua grup aktivitas tersebut termasuk pada aktivitas internal yang menyebabkan aktivitas operator harus dilakukan pada saat mesin sedang berhenti beroperasi dan menyebabkan *downtime* mesin menjadi tinggi. Tahapan awal untuk melakukan *improvement* dengan menentukan dari setiap grup aktivitas tersebut apakah dapat dihilangkan, diubah, dikombinasikan atau disederhanakan.

3.4 Prinsip Lean 3: Created Flow

Pada prinsip *lean* ketiga bertujuan untuk membuat proses baru yang digunakan untuk mengurangi *waiting time* dan *cycle time*. Tahapan awal adalah menentukan perbaikan berbasis *kaizen* yang diimplementasikan pada *future stream map*, setelah mengetahui grup aktivitas yang akan dilakukan perbaikan, selanjutnya mengubah aktivitas *type* internal menjadi external dan melakukan kombinasi aktivitas pada saat mesin sedang beroperasi.

3.4.1 Kaizen Menggunakan 5S dan SMED

Improvement yang pertama dilakukan pada programmer CMM dengan menggunakan *inspection plan*, dengan memperhatikan faktor *cycle time* menjadi tinggi seperti faktor *setup part*, posisi *probe* dan jumlah *point*. Pada tahap selanjutnya *improvement* seperti pada Gambar 8 dilakukan pada aktivitas *preparation* dan *post inspection*. *Tools* yang digunakan adalah 5S untuk *maintain perfection*, operator melakukan *preventive maintenance* yang bertujuan untuk merawat mesin dan memastikan peralatan yang digunakan dalam kondisi baik pada saat sebelum dan sesudah melakukan pengukuran. Selanjutnya adalah pada aktivitas *cleaning*, *setup part* dan *setup mesin* menggunakan SMED, untuk meningkatkan produktivitas operator yang belum efektif.



Gambar 8. Identifikasi perbaikan pada CSM

Proses pergantian yang efektif dan efisien merupakan elemen penting yang mendukung proses pengendalian produksi pada manufaktur. *Single Minute Exchange of Dies (SMED)* berfokus kepada meminimalkan waktu pergantian secara keseluruhan. Pada penelitian Ahmad dan Soberi (2018) implementasi SMED memiliki manfaat yaitu waktu *changeover* dapat berkurang 44% dan total waktu internal dapat dikurangi sebesar 48% dengan menggunakan 4 langkah SMED yaitu:

- Fase pertama adalah membuat gambaran untuk proses setup pada saat ini. Ide utama dari fase ini adalah untuk mengungkapkan gambaran keseluruhan dari kegiatan *changeover* pada saat ini. Mengumpulkan informasi dan data terkait tentang prosedur *changeover*.
- Fase kedua adalah mengklasifikasikan kegiatan internal dan eksternal. Ini dimulai dengan mendaftar semua kegiatan *changeover* secara berurutan diikuti dengan mengklasifikasikan dan menganalisis kegiatan internal dan eksternal.
- Fase ketiga berfokus pada pemindahan aktivitas internal ke eksternal, dengan melakukan identifikasi aktivitas internal yang dapat dilakukan sebelum mesin berhenti atau setelah mesin mulai beroperasi.
- Fase keempat berfokus pada perampingan semua kegiatan internal dan eksternal. Fase ini dapat dicapai dengan menghilangkan operasi yang tidak perlu (misalnya, aktivitas yang berlebihan) dan pembuatan prosedur dari proses pergantian (standarisasi waktu aktivitas).

3.4.2 Rekomendasi 5 Whys

Berikut adalah rekomendasi yang diberikan.

1. *Downtime* mesin tinggi. Solusi 1.1: Aktivitas operator CMM dijadikan paralel dan *setup* mesin dilakukan pada saat mesin beroperasi.
2. *Setup Part*. Solusi 2.1: Membuat *inspection plan* yang berisikan dokumen untuk melakukan aktivitas *setup*. Solusi 2.3: Membuat *layout* pada meja CMM yang bertujuan untuk memudahkan operator dalam melakukan *setup part*.
3. *Product/part*: *Part* disimpan sesuai kategori yang sudah ditentukan, selalu memastikan *part* dalam kondisi bersih pada saat sebelum dilakukan pengukuran.

4. Meja CMM: Memberikan *marking* pada meja CMM untuk setiap kategori dari *part* dan membuat dokumen yang digunakan untuk melakukan *setup*.
5. Komputer mesin: Membuat dokumen *inspection* yang digunakan untuk aktivitas operator pada saat melakukan *setup*, evaluasi dan mengisi DIR.
6. *Probe*: Menggunakan posisi *probe* yang tepat, karena posisi *probe* yang banyak akan menjadi permasalahan. Pergantian posisi dari *probe* membutuhkan gerakan bebas yang bertujuan agar *probe* tidak menabrak *part* dan jumlah kalibrasi yang harus dilakukan.

3.4.3 Man Machine Chart (MMC)

Man machine chart digunakan untuk mengetahui total dari *idle time* mesin CMM dan *waiting time* operator. Kondisi pada saat ini operator menunggu mesin beroperasi dan tidak melakukan aktivitas lain, sedangkan mesin harus menunggu operator pada saat melakukan aktivitas *cleaning*, *setup part* dan *setup* mesin. Dengan aktivitas operator yang tidak melakukan aktivitas lain pada saat mesin beroperasi menyebabkan *idle time* mesin CMM menjadi tinggi dan menyebabkan *utilize* menjadi rendah. Pada Tabel 2 dapat dilihat *man machine chart* mesin CMM. Total waktu yang dibutuhkan adalah 158 menit, *waiting time* dari operator adalah 65 menit, *idle time* mesin adalah 68 menit dan *utilize* hanya 59%.

3.5 Prinsip Lean 4: Pull On Demand

Pada tahapan ini bertujuan untuk melakukan implementasi *plan* yang sudah dilakukan pada *stage* 3. Langkah pertama adalah mengubah aktivitas internal menjadi aktivitas external, dengan melakukan analisis aktivitas dengan menghilangkan, merubah, atau mengkombinasi grup aktivitas. Tujuan dari analisis aktivitas adalah mengurangi *cycle time*, meningkatkan utilisasi dari mesin dan operator.

3.5.1 Inspection Plan

Penggunaan CAIP berfungsi untuk memudahkan proses inspeksi yang dilakukan pada mesin CMM, dengan langsung mengetahui informasi geometri dari *part* yang berasal dari CAD (mengetahui *part* tersebut memiliki *contour*). Informasi tersebut berupa dimensi *part* dan toleransi geometri *part* yang membantu programmer membuat program CMM dan pada saat menentukan *feature* yang dibutuhkan seperti membuat *point*, *line*, *circle* dan *plane*. CAD dapat membantu visualisasi untuk menentukan referensi dan menentukan *setup part*. Pada Gambar 9 terdapat *inspection plan* yang digunakan untuk membantu operator melakukan *setup part*.

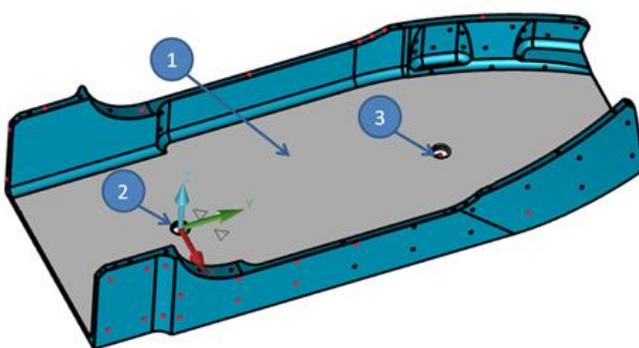
3.5.2 Improvement Aktivitas Operator dan Mesin CMM

Setelah secara keseluruhan aktivitas pengukuran selesai diidentifikasi selanjutnya membagi aktivitas menjadi grup dan melakukan klasifikasi menjadi 2 *type* yaitu internal (aktivitas yang dilakukan pada saat mesin *stop*) dan eksternal aktivitas (aktivitas yang dapat dilakukan pada saat mesin *running*/ sedang beroperasi). Strategi pertama yang dilakukan setelah membuat *plan improvement* adalah mengubah aktivitas internal menjadi eksternal, karena *waste* disebabkan oleh aktivitas operator yang kurang efektif. Pada kondisi saat ini semua grup aktivitas pengukuran termasuk kedalam *type* internal yang menyebabkan operator hanya melakukan *cleaning*, *setup part* dan *setup mesin* pada saat mesin tidak beroperasi.

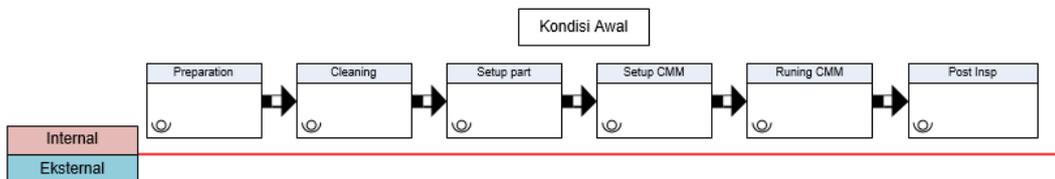
Pada Gambar 10, aktivitas pengukuran yang dilakukan operator merupakan aktivitas internal yang menyebabkan pada saat mesin beroperasi, operator tidak melakukan apapun dan hanya menunggu mesin CMM selesai beroperasi. Pada Gambar 11 adalah *plan improvement* yang dilakukan, dengan merubah aktivitas internal menjadi eksternal kemudian grup aktivitas tersebut dikombinasikan. Pada saat mesin CMM beroperasi secara otomatis, operator dapat melakukan aktivitas grup *cleaning*, *setup part* atau *setup mesin*.

Tabel 2. *Man Machine Chart small part*

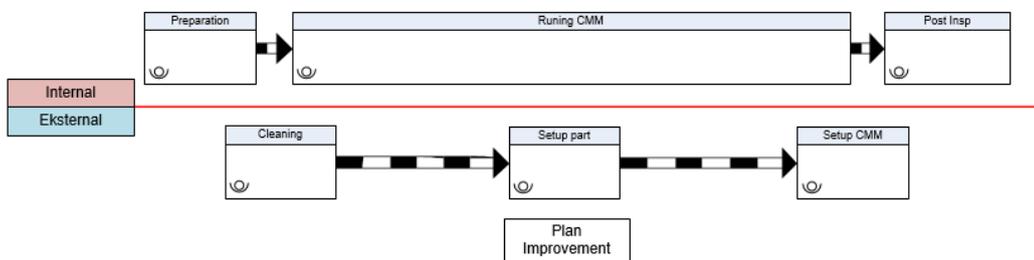
Aktivitas operator	Waktu (Dalam satuan menit)						Aktivitas mesin
	Start	Finish	Total	Start	Finish	Total	
Preparation							
Waiting	0	10	10	10	0	10	Home position mesin
Identifikasi process sheet, Jid Number, part number dan quantity	10	15	5	15	10	25	Idle
Check drawing dan Requirement	15	23	8				
Start time ticket di SAP	23	25	2				
Cleaning							
Membersihkan part hasil pemotongan machining	25	27	2				Idle
melakukan break sharp edge bagian yang masih tajam	27	29	2	6	25	31	
Membersihkan part menggunakan MEK untuk memastikan part dalam keadaan bersih dan siap untuk di ukur	29	31	2				
Setup part dan handling part							
Clamping part menggunakan tools untuk mencegah benda berubah posisi pada saat pengukuran	31	36	5	10	31	41	Idle
Setting part sesuai program PC DMIS	36	41	5				
Setup mesin CMM							
Check program	41	51	10	10	41	51	Simulation collision detect
Input JID No, Identifikasi pada program	51	56	5	7	51	58	Idle
Check kondisi probe	56	58	2				
Waiting	58	63	5	5	58	63	Kalibrasi
Running program							
Melakukan alignment manual	63	78	15	15	63	78	Melakukan alignment manual
Waiting	78	128	50	10	78	88	Alignment NC
Check report CMM	128	133	5	40	88	128	Pengukuran sesuai dengan program
Mengisi DIR	133	143	10	15	128	143	Idle
Release part atau membuat report Nonconforming	143	151	8				
Unclamping part/handing part dan stop time ticket	151	158	7	15	143	158	Idle
Post CMM							

Issued Date : 09/09/2020	Inspection plan for Cordinates Measurement Machine		Program No. : FA84172008-003
Model : KF-X			Rev. No : A
Prepared by : R H			Page 1 of 1
Part No.	FA84172008-003	Part Name	Frame weapon pylon
Drawing No.	FA84172008-003	Drawing Rev.	A
Source Dataset	FA84172008-003.3DXML	QA Dataset	Q.FA84172008-003.3DXML
(Datum Set -up) 1.Sesuaikan part dengan axis mesin sesuai dengan gambar 2.Simpan part diatas meja CMM Lanjutkan proses pengukuran sesuai dengan urutan dibawah ini untuk melakukan alignment manual dan running program ① TAKE 4 POINTS ON THE BLOCK FACE (DATUM-A-) ② TAKE 4 POINTS ON THE FRONT HOLE (DATUM-B-) ③ TAKE 4 POINTS ON THE REAR HOLE (DATUM-C-) 3.Running program atur sumbu sesuai dengan darum dan mulai melakukan pengukuran			
			
Reason of Revision	Initial Issue	Revised Date.	09/09/2020
Contents of Revision	N/A	Approved by	WN
Customer Approval	N/A	Approved Date	09/12/2020

Gambar 9. Contoh perbaikan pada *inspection plan*



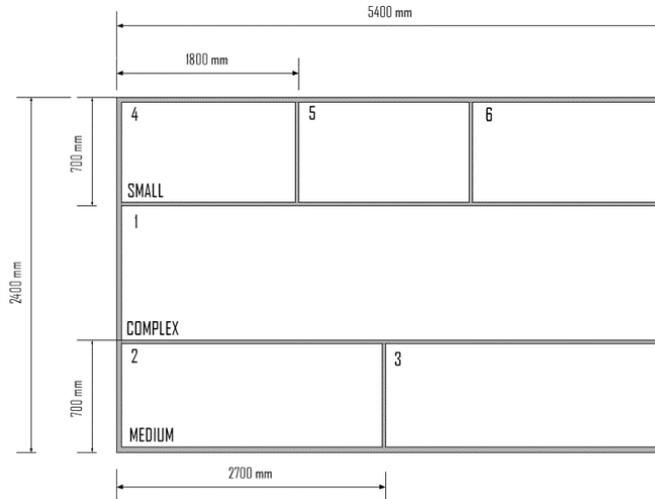
Gambar 10. Kondisi sebelum dilakukan *improvement*



Gambar 11. Rencana *improvement*

Rekomendasi dari *5 whys* adalah melakukan *setup part* secara bersamaan pada saat mesin sedang beroperasi. Aktivitas paralel dapat dilakukan dengan membuat *layout* dari meja CMM untuk memudahkan operator pada saat melakukan *setup part*. *Layout* meja CMM bertujuan untuk mengurangi waktu *downtime* dari mesin CMM. Operator melakukan *setup* pada saat

mesin sedang beroperasi sesuai dengan urutan dan kategori yang terdapat pada Gambar 12. Meja CMM dibagi menjadi 6 bagian yang terdiri dari 3 area untuk *small*, 2 area untuk *medium* dan 1 untuk *complex part*. Manfaat *layout* dari meja CMM operator lebih mudah untuk mengetahui lokasi dari *part* pada saat *setup* sesuai kategori dari *part*.



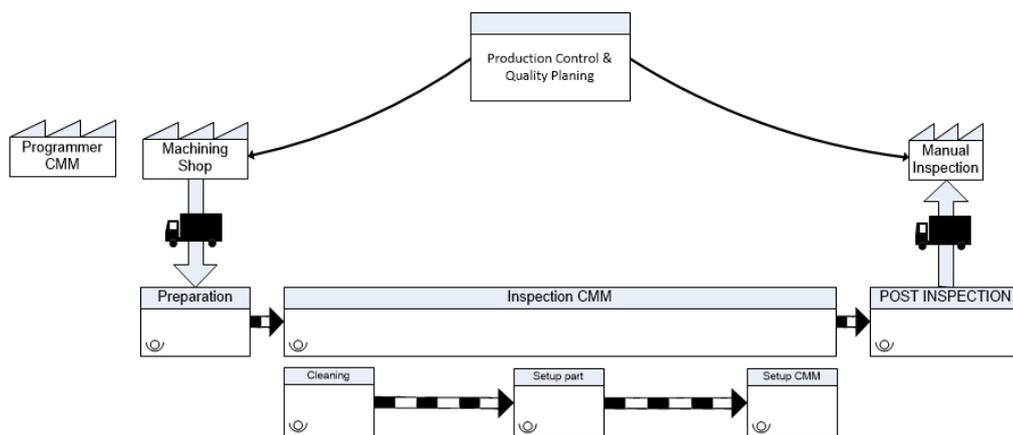
Gambar 12. Usulan rancangan *layout* meja CMM

3.6 Prinsip *Lean 5: Perfection*

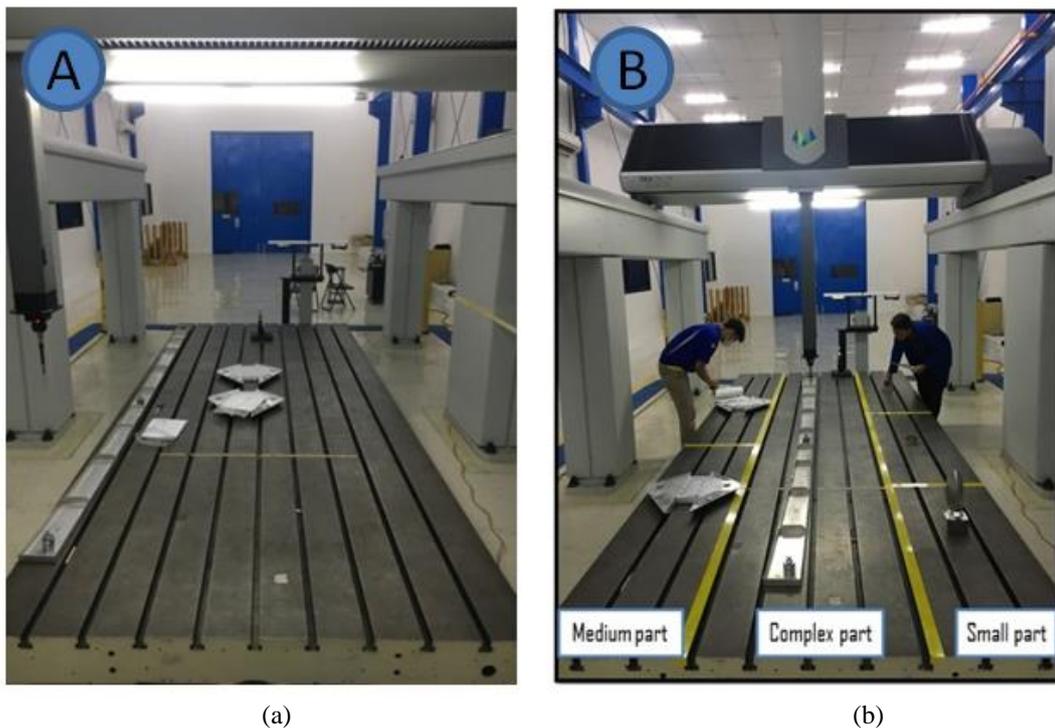
Pada tahapan ini bertujuan untuk menghilangkan kegiatan yang tidak mempunyai nilai atau *waste* dan melakukan *continues improvement*. Prinsip lean kelima terdiri dari *Future State Map* (FSM) yang diimplementasikan pada area CMM dan untuk melanjutkan prinsip *lean* kelima tersebut dengan menggunakan *tools 5S*.

3.6.1 *Future Value Stream Mapping*

Pada Gambar 13 aktivitas dilakukan secara paralel karena operator dapat melakukan aktivitas lain pada saat mesin sedang beroperasi. Dengan demikian pada saat mesin sudah selesai melakukan pengukuran dapat melanjutkan melakukan pengukuran tanpa harus menunggu operator melakukan *setup part*.



Gambar 13. *Future State Map* pada proses inspeksi



Gambar 14. Implementasi *lean*

Pada Gambar 14a adalah meja CMM sebelum melakukan *improvement* dengan kondisi tersebut operator kesulitan untuk menentukan posisi pada saat melakukan *setup part*. Pada Gambar 14b adalah aktivitas operator yang sedang melakukan *setup* dengan menggunakan dokumen *inspection plan* dan *layout* meja CMM yang sudah diberikan *marking*. *Marking* berwarna kuning memudahkan operator untuk mengetahui posisi *part* pada saat *setup*. Dokumen *inspection plan* membantu memberikan informasi kepada operator dalam melakukan *setup* dengan dokumen tersebut operator mengetahui posisi dari *part* agar sesuai dengan *axis* mesin.

3.6.2 *Maintain Perfection*

Perfection yang sudah dibuat harus dijaga untuk memastikan prinsip *lean* tetap diimplementasikan pada proses pengukuran. *Tools* yang digunakan adalah 5S, prinsip dari 5S yang digunakan pada tahapan ini yaitu:

Seiri

Konsep pertama dari 5S adalah “*Seiri*” yaitu dengan mengatur tempat kerja untuk menjadikan tempat kerja yang efektif. Konsep dari *seiri* membantu implementasi prinsip *lean* ketiga yaitu mengubah internal menjadi eksternal dan mengkombinasikan grup aktivitas.

Seiton

Aktivitas grup *cleaning* membutuhkan lokasi yang digunakan untuk membersihkan *part* sebelum melakukan *setting* pada meja CMM, tujuan dari konsep kedua dari 5S adalah dapat melakukan proses dengan cepat, menghilangkan *error*, dan disiplin. Pada konsep kedua dengan melakukan *design layout* dari area CMM untuk mendapatkan *flow* yang tepat pada saat pengukuran untuk mengurangi waktu pengukuran secara keseluruhan.

Seiso

Pada konsep 5S yang ketiga bertujuan untuk menjaga kebersihan tempat bekerja terutama menjaga kebersihan dari mesin dan *tools* yang digunakan pada mesin CMM seperti *probe*. Aktivitas grup *preparation* dan *post inspection* adalah memeriksa kondisi dari mesin dan *probe* pada saat sebelum dan sesudah digunakan dalam keadaan baik.

Seiketsu

Implementasi prinsip *standardize* salah satunya dengan memberi tanda pada area pekerjaan yaitu dengan memberi tanda pada meja CMM untuk melakukan *setup*. *Seiketsu* digunakan untuk membedakan antara *part* yang sudah diukur/belum diukur, membedakan antara *part* dengan kondisi *nonconforming/conforming* dan memberikan tanda area untuk melakukan *cleaning part* dan *tools/alat bantu*.

Shitsuke

Shitsuke adalah prinsip *sustain* dengan menggunakan aktivitas sebagai berikut: 1) Monitoring yang dilakukan untuk melihat apakah perbaikan tetap dilaksanakan oleh operator dan programmer; 2) Melakukan audit.

3.6.3 Analisis Hasil Perbaikan

Penerapan *lean manufacturing* dan *inspection plan* dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi *waste* yang terdapat pada proses pengukuran seperti *waiting time* operator yang tinggi, *idle* mesin yang tinggi dan *utilization* yang rendah. Permasalahan tersebut dapat dihilangkan atau dikurangi dengan menggunakan pendekatan *lean* dan *inspection plan*. Metode *lean* digunakan untuk mengurangi *waste* yang sebabkan oleh operator dan *inspection planning* digunakan untuk memperbaiki proses pengukuran seperti mengurangi *setup part*, jumlah *point* pengukuran dan urutan proses pengukuran. *Inspection planning* juga digunakan untuk membantu operator untuk melakukan implementasi *lean*. Setelah melakukan perbaikan menggunakan *lean* dan *inspection plan*, dilakukan analisis untuk mengetahui *improvement* yang sudah dilakukan sudah berjalan atau tidak, analisis berdasarkan perhitungan dari *utilization* operator dan mesin dengan menggunakan rumus berikut.

$$Utilization\ operator = \frac{Valuable\ operating\ time}{Total\ Operating\ time} * 100\% \quad (1)$$

Dari perhitungan yang digunakan untuk part dengan kategori small berdasarkan dari tabel persentase *utilization* operator adalah 59%, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Utilization\ operator = \frac{93}{158} * 100\% = 59\% \quad (2)$$

Selanjutnya untuk mencari *utilization* dari mesin menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Utilization\ Mesin = \frac{Valuable\ operating\ time}{Total\ Operating\ time} * 100\% \quad (3)$$

Dari perhitungan yang di tabel nilai utilisasi dari mesin adalah sebagai berikut.

$$Utilization\ mesin = \frac{90}{158} * 100\% = 57\% \quad (4)$$

Pada Tabel 3 terdapat data *utilization* yang dilakukan operator dan mesin, apabila operator melakukan proses *inspection part* secara berurutan menyebabkan banyak waktu *waiting time* untuk operator dan *idle time* pada mesin. Dengan menggunakan kombinasi pengukuran dan operator melakukan aktivitas secara paralel dengan melakukan aktivitas *cleaning*, *setup part* dan *setup* mesin pada saat mesin beroperasi dapat meningkatkan *utilization* dari mesin menjadi 81% dan operator menjadi 84%.

Tabel 3. Perbandingan *utilization*

Kategori Part	Utilization Operator	Utilization Mesin
<i>Small</i>	59%	57%
<i>Medium</i>	55%	59%
<i>Complex</i>	57%	59%
Kombinasi part	84%	81%

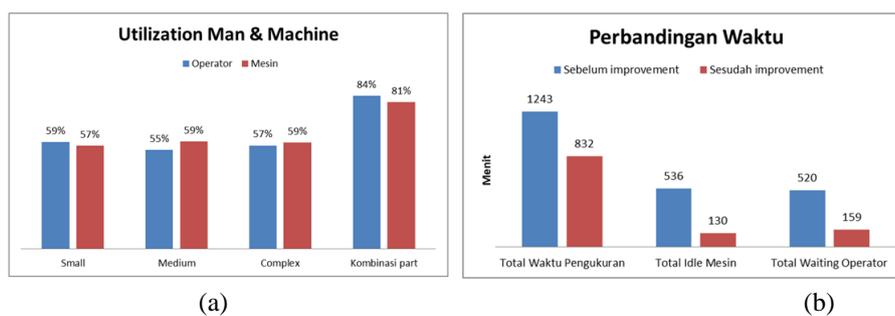
4. Kesimpulan

Pada penelitian ini menggunakan kombinasi metode *lean* dan *inspection plan* yang digunakan untuk melakukan perbaikan pada proses inspeksi pada area CMM. *Lean* berfokus terhadap aktivitas operator dan *inspection plan* berfokus pada programmer. Prinsip *lean* pertama sampai ketiga digunakan untuk perencanaan dan prinsip *lean* keempat dan kelima untuk melakukan implementasi.

Prinsip *lean* yang pertama adalah *spesifik value* bertujuan untuk identifikasi *waste* pada saat proses. Berdasarkan 5 *whys* dan *fishbone*, *waste* pada CMM disebabkan part yang diinspeksi mempunyai variasi yang tinggi, pemanfaatan meja CMM belum optimal dan *utilization* operator & mesin yang masih rendah. Prinsip *lean* kedua adalah *internal value* bertujuan untuk mengetahui aktivitas yang dilakukan operator pada proses pengukuran pada area CMM dan membagi menjadi grup aktivitas yang terdiri dari *preparation*, *cleaning*, *setup part*, *setup mesin*, *running machine* dan *post inspection*. Prinsip *lean* ketiga yaitu *created flow* yang bertujuan untuk menentukan rencana perbaikan yang dilakukan dengan menentukan *kaizen* pada aktivitas pengukuran, dan menentukan aktivitas yang dapat dilakukan operator pada saat mesin sedang beroperasi. *Cycle time* yang tinggi disebabkan oleh aktivitas *setup*. SMED digunakan untuk meningkatkan produktivitas operator dan mesin.

Pada prinsip *lean* keempat adalah *pull on demand* dengan membuat *inspection plan* untuk memudahkan operator pada saat melakukan *setup* mesin, operator melakukan *setup part* pada saat mesin sedang beroperasi dan menentukan *layout* meja CMM yang digunakan untuk membantu operator pada saat melakukan *setup part*. Prinsip *lean* terakhir adalah *perfection* bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi *waste* yang terdapat pada proses dengan melakukan implementasi FSM dan mempertahankan *improvement* dengan menggunakan *tools* 5S.

Setelah *improvement* diimplementasikan, tahapan berikutnya adalah melakukan perbandingan dan analisis dari *utilization*, *cycle time* dan *waiting time*. *Improvement* yang dilakukan dengan menggunakan kombinasi aktivitas operator pada saat mesin beroperasi dan *layout* dari meja CMM dengan ketentuan 1 *part complex*, 2 *part medium* dan 3 *part small*. Hasil *utilization* dari operator dan mesin CMM dapat meningkat menjadi 84% untuk operator dan mesin menjadi 81%. Selain *utilization* terdapat perbandingan waktu sebelum dan sesudah melakukan *improvement*. Untuk melakukan pengukuran 6 *part* dengan ketentuan (1 *part complex*, 2 *part medium* dan 3 *part small*) waktu yang dibutuhkan adalah 1243 menit sedangkan total *idle time* dari mesin 536 menit dan untuk *waiting time* operator 520 menit. Setelah melakukan *improvement* total waktu *cycle time* menjadi 832 menit, *idle time* menjadi 130 menit dan *waiting time* operator menjadi 159 menit. Untuk melihat perbandingan *utilization* dapat melihat Gambar 15a dan untuk melihat secara total perbandingan waktu dapat melihat pada Gambar 15b. Dari data yang didapat dapat disimpulkan bahwa metode *lean* dan *inspection plan* dapat dilakukan untuk mengurangi *waste* yaitu *idle time*, *waiting time* dan *cycle time* sebesar 33%.



Gambar 15. Indikator *improvement*

5. Daftar Pustaka

Ahmad, R. and Soberi, M.S.F. (2018) 'Changeover process improvement based on modified SMED method and other process improvement tools application: an improvement project of 5-axis CNC machine operation in advanced composite manufacturing industry', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1-4), pp. 433-450. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0827-7>.

Arslankaya, S. and Atay, H. (2015) 'Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, pp. 214-224. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.090>.

Beg, J. and Shunmugam, M.S. (2002) 'An object oriented planner for inspection of prismatic parts-OOPIPP', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(12), pp. 905-916.

Braglia, M., Frosolini, M. and Gallo, M. (2017) 'SMED enhanced with 5-whys analysis to improve set-up reduction programs: the SWAN approach', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(5-8), pp. 1845-1855. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9477-4>.

Hill, J. *et al.* (2018) 'The implementation of a Lean Six Sigma framework to enhance operational performance in an MRO facility', *Production and Manufacturing Research*, 6(1), pp. 26-48. Available at: <https://doi.org/10.1080/21693277.2017.1417179>.

Hwang, C.Y., Tsai, C.Y. and Chang, C.A. (2004) 'Efficient inspection planning for coordinate measuring machines', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23(9-10), pp. 732-742. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1642-x>.

Kamrani, A. *et al.* (2015) 'Feature-based design approach for integrated CAD and computer-aided inspection planning', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(9-12), pp. 2159-2183. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6396-0>.

Kennedy, I., Plunkett, A. and Haider, J. (2013) 'Implementation of lean principles in a food manufacturing company', in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer Heidelberg, pp. 1579-1590. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-00557-7_127.

Mohan Prasad, M. *et al.* (2020) 'A framework for lean manufacturing implementation in Indian textile industry', in *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd, pp. 2986-2995. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.979>.

Nallusamy, S. and Adil Ahamed, M.A. (2017) 'Implementation of lean tools in an automotive industry for productivity enhancement - a case study', *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, pp. 175-185. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.29.175>.

Nikam, R.R. (2018) 'Coordinate Measuring Machine (CMM)'. *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, 6(2), pp. 13-19. Available at: www.researchpublish.com.

Randhawa, J.S. and Ahuja, I.S. (2017) '5S - a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions', *International Journal of Quality and Reliability Management*. Emerald Group Publishing Ltd., 34(3), pp. 334-361. Available at: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2015-0045>.

Thomas, A.J. *et al.* (2016) 'Implementing Lean Six Sigma to overcome the production challenges in an aerospace company', *Production Planning and Control*, 27(7–8), pp. 591–603. Available at: <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1165300>.

Venkataraman, K. *et al.* (2014) 'Application of Value Stream Mapping for reduction of cycle time in a machining process', *Procedia Materials Science*, 6, pp. 1187–1196. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.192>.

Verma, T.K. and Gupta, N. (2021) 'A case study of manpower productivity improvement in moulding section of automotive industry by using man machine chart', in *Advances in Industrial and Production Engineering: Select Proceedings of FLAME 2020*. Springer, pp. 159–166.