

Model Alokasi Stasiun Inspeksi dengan Mempertimbangkan Work in Process dan Produk Rework dan Scrap

Yuri Delano Regent Montororing

Program Studi Teknik Industri Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

Jln. Darmawangsa No. 1 Jakarta 12140

yuri.delano@dsn.ubharajaya.ac.id

(Makalah: Diterima Oktober 2017, direvisi Juni 2019, dipublikasikan Juli 2019)

Intisari— Dalam menyediakan produk yang berkualitas tinggi diperlukan perencanaan pengendalian kualitas agar hasilnya bisa baik. Kontrol kualitas di lini produksi didasarkan pada inspeksi oleh penerimaan yang memenuhi syarat produk. Metode kontrol kualitas ini dilakukan secara fleksibel menempatkan stasiun kontrol kualitas untuk memisahkan produk yang akan dikerjakan ulang dan scrap yang akan dibuang. Penelitian yang membahas alokasi stasiun kontrol kualitas dengan mempertimbangkan inventaris pekerjaan dalam proses dan pengerjaan ulang dan scrap produk saat ini masih belum ada. Oleh karena itu penelitian ini akan membahas lebih lanjut. Model dalam penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan fungsi objektif untuk meminimalkan total biaya produksi. Total biaya terdiri dari biaya proses, biaya inspeksi, biaya tunggu, biaya instalasi stasiun kontrol kualitas, biaya pengerjaan ulang dan biaya memo. Tujuannya adalah untuk menemukan stasiun kontrol kualitas alokasi konfigurasi di jalur produksi dengan biaya minimum. Dari hasil yang diperoleh, model alokasi stasiun inspeksi mampu meminimalkan biaya perakitan dan fleksibel terhadap perubahan parameter permintaan, biaya, probabilitas kesesuaian dan proporsi yang tidak sesuai.

Kata kunci— Kontrol kualitas, alokasi stasiun kontrol kualitas, pekerjaan dalam proses, pengerjaan ulang dan scrap.

Abstract— In providing high quality products requires a quality control planning so that the output can be good. Quality control in the production line is based on an inspection by a qualified acceptance of the product. This quality control method is done by flexibly placing the quality control station to separate products in the form of rework to be reworked and scrap to be discarded. Research discussing the quality control station allocation taking into account the inventory of work in process and product rework and scrap not exist, therefore the researcher intends to do so. The development of this model is done by developing the objective function to minimize the total cost of production. Total expenses consist of process cost, inspection cost, waiting cost, quality control station installation costs, rework cost and scrap costs. The goal is to find a configuration allocation quality control stations in the production line at minimum cost. From the results obtained inspection station allocation model that is able to minimize the cost of the assembly and the flexibly to changes in demand parameters, costs, probability of conforming and nonconforming proportions.

Keywords— Quality control, quality control station allocation, work in process, rework and scrap.

I. PENDAHULUAN

Pengendalian kualitas produk dalam suatu proses produksi adalah faktor yang sangat penting bagi dunia industri, selain untuk menjaga konsistensi kualitas produk yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan pasar. Hal ini dilakukan karena pengendalian kualitas yang baik dan dilakukan secara kontinu akan dapat mendeteksi ketidaknormalan secara cepat, sehingga dapat segera dilakukan tindakan antisipasinya. Pengendalian kualitas ini jika tidak dilakukan dengan tepat akan menyebabkan banyak bahan, tenaga dan waktu yang terbuang, sehingga muncul

pemikiran untuk menciptakan sistem yang dapat mencegah timbulnya masalah mengenai kualitas.

Pengendalian kualitas dapat dilakukan dengan bermacam cara, salah satu caranya adalah pengendalian kualitas yang berdasarkan inspeksi dengan penerimaan produk yang memenuhi syarat dan penolakan produk yang tidak memenuhi syarat [1]. Inspeksi merupakan aktivitas untuk menguji produk, komponen produksi, material yang akan di proses, agar sesuai dengan spesifikasi desain. Kegiatan inspeksi menjadi hal penting dalam proses produksi, karena kegiatan inspeksi ini yang nantinya menyimpulkan nilai kualitas suatu produk baik atau tidak.

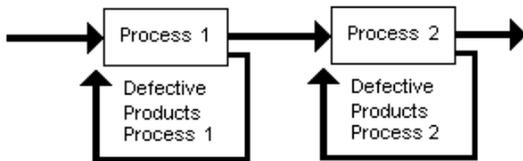
Produk yang dikelompokkan sebagai *nonconforming* akan dipisahkan menjadi produk *rework* dan *scrap*. Dalam penelitian [2] menjelaskan produk *nonconforming* sebagai berikut: (1) *Rework* adalah pengerjaan ulang produk *nonconforming* dengan metode yang menjamin produk akan sesuai dengan spesifikasinya. Metode yang dipakai untuk produk *rework* yaitu mengerjakan ulang produk *nonconforming* dengan menggunakan sumber daya dan fasilitas yang sama. (2) *Scrap* adalah produk *nonconforming* yang tidak dapat diperbaiki atau tidak ekonomis untuk diperbaiki sehingga akan dibuang.

Menurut [2] *rework* dapat dibedakan dalam 2 hal yaitu sumber daya yang digunakan dan rute proses yang dilalui oleh produk *rework*. Dalam hal sumber daya yang digunakan bisa dilakukan secara *inline*. Perbaikan produk *rework* secara *inline* akan mengembalikan produk *nonconforming* ke stasiun kerja *upstream* dan dikerjakan ulang dengan fasilitas dan sumber daya yang sama sesuai dengan standar operasi kerjanya selagi aliran produksi tersebut sedang bekerja (gambar 1).



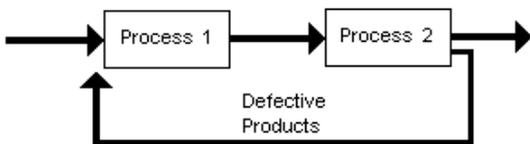
Gambar 1. *Inline rework*

Dalam hal rute proses yang dilalui oleh produk *rework*, mengacu kepada *stage* atau stasiun kerja yang akan dilalui produk *rework*. Pada gambar 2 produk *rework* dikerjakan ulang secara spesifik hanya pada kerusakan yang ditemukan saja dan setiap kerusakan diperbaiki di *stage* yang spesifik untuk memperbaiki kerusakan tersebut.



Gambar 2. *Multiple stages pada online rework*

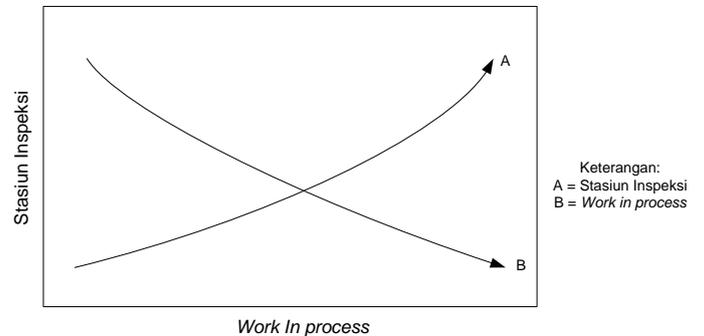
Sedangkan pada *single stage* produk *rework* akan diperbaiki melewati proses dan fasilitas *reguler* sehingga produk *rework* akan melalui aliran produksi kembali (gambar 3).



Gambar 3. *Single stages pada online rework*

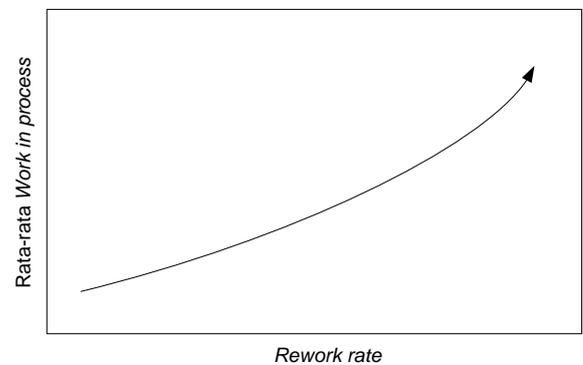
Menurut penelitian Drezner dkk [3] terdapat pengaruh konfigurasi stasiun inspeksi terhadap inventori *work in process*. Stasiun inspeksi pada lintasan produksi serial dengan 4 stasiun kerja yang *independent* lalu dengan

mengikuti hukum *Little*, ekspektasi inventori *work in process* di dalam sistem berkurang dari 46% menjadi 31,18%. Keuntungan yang diperoleh dengan menghilangkan inventori *work in process* yaitu menghemat ongkos produksi.



Gambar 4. Perbandingan alokasi stasiun inspeksi terhadap *work in process*.

Pada gambar 4 menjelaskan bahwa semakin banyak jumlah stasiun inspeksi yang dialokasikan akan mampu menurunkan *work in process*. Namun dengan semakin banyak jumlah stasiun inspeksi yang dipasang akan membuat biaya instalasi semakin tinggi. Oleh karena itu dengan jumlah stasiun inspeksi yang tepat maka total ongkos produksi yang harus dikeluarkan akan semakin berkurang. Dengan meminimumkan inventori *work in process*, maka *rework rate* dapat ditekan serendah mungkin.



Gambar 5. Perbandingan *rework rate* terhadap *work in process*.

Untuk mendukung keputusan menurunkan inventori *work in process*, maka dilakukan juga optimisasi inventori produk jadi. Dalam mengoptimisasi inventori produk jadi salah satu cara yang bisa dilakukan yaitu hanya memproduksi sejumlah yang dibutuhkan. Konsep ini sebelumnya sudah diperkenalkan oleh Liker [4] mengenai *Toyota Production System*. Konsep lainnya yang serupa dengan *Toyota Production System* yaitu *Lean Manufacturing* yang diperkenalkan oleh Womack, dkk [5]. Kedua konsep ini digunakan untuk mengatasi masalah produk tersedia tepat pada waktunya baik dalam jumlah dan tempat sehingga

tingkat persediaan dapat di tekan seminimal mungkin karena hanya memproduksi apa yang dibutuhkan dan hanya pada saat dibutuhkan dalam jumlah yang diperlukan.

Jika aliran produksi hanya memproduksi sesuai jumlah yang dibutuhkan dalam hal ini permintaan konsumen, maka aliran produksi dapat menghemat biaya produksi maupun biaya bahan baku. Selain itu dengan menggunakan sistem ini, sistem produksi dapat mengakomodir perubahan permintaan dengan tetap menjaga tingkat persediaan seminimal mungkin.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lintasan Perakitan

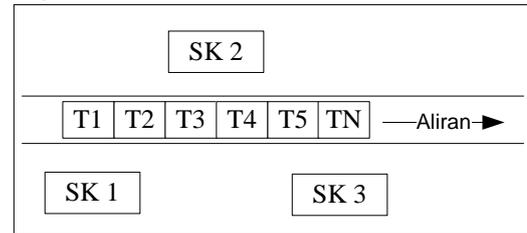
Lintasan perakitan merupakan metoda paling umum digunakan dalam lingkungan produksi massal. Metoda ini memungkinkan perakitan produk dilakukan oleh pekerja dengan keterbatasan pelatihan dan dengan mesin yang tetap dan atau dengan robot. Setiap lintas terdiri dari beberapa stasiun kerja yang di atur bersama melalui sistem transportasi tertentu. Sistem transportasi tersebut memindahkan benda kerja melalui lintas perakitan dari satu stasiun ke stasiun berikutnya dengan kecepatan konstan yang menentukan kecepatan produksi. Dalam setiap stasiun kerja, satu set tugas yang dilakukan pada benda kerja di batasi oleh *cycle time* yaitu durasi untuk setiap benda kerja berada di setiap stasiun kerja.

Lintasan perakitan merupakan sistem aliran produksi di mana unit-unit produktif melakukan operasi. Benda kerja berturut-turut melalui stasiun yang dipindahkan sepanjang lintasan dan biasanya dilakukan melalui beberapa jenis sistem transportasi, misalnya sebuah ban berjalan. Pada awalnya lintas perakitan dikembangkan untuk efisiensi biaya produksi massal untuk produk standar, yang di rancang untuk mengeksploitasi spesialisasi tenaga kerja yang tinggi. Lintasan perakitan merupakan metoda yang paling banyak digunakan dalam sistem produksi. Tujuan utama dari perancangan lintasan perakitan adalah untuk meningkatkan efisiensi dengan memaksimalkan rasio antara *throughput* dan biaya yang diperlukan.

Henry Ford menemukan lintasan perakitan yang revolusioner yaitu cara pembuatan mobil dan berapa banyak biaya yang diperlukannya. Dia yang pertama memperkenalkan *belt* sebagai penggerak dalam pabrik. Pekerja dapat "*build cars one piece at a time instead of one cars at a time*". Prinsipnya di sebut "*division of labour*" yang mengharuskan pekerja untuk fokus melakukan satu aktifitas dengan baik daripada bertanggung jawab sejumlah tugas.

Konsep bentuk lintasan adalah sederhana yaitu: sejumlah stasiun (misalnya 3 stasiun pada gambar 6, yaitu stasiun 1 sampai stasiun 3) yang dihubungkan dengan konveyor dan setiap stasiun msngerjakan 1 atau lebih tugas (menambah komponen atau inspeksi dll.) pada produk setengah jadi yang ada dihadapannya. Operasi dilakukan oleh sekelompok pekerja terlatih menggunakan mesin atau robot. Setelah

lewat waktunya yang di sebut *cycle time (C)*, konveyor bergerak sehingga produk berada pada stasiun kerja berikutnya.



Gambar 6. Konsep lintasan perakitan

B. Inspeksi

Inspeksi merupakan suatu pekerjaan untuk membandingkan antara kondisi produk atau proses yang terjadi dengan spesifikasi atau standar yang telah ditetapkan. Inspeksi meliputi penggunaan teknik pengukuran dan *gaging* untuk menentukan apakah produk sesuai dengan spesifikasi desain. Produk bisa berarti item, sekumpulan item (lot), komponen-komponen produk, sub-sub asembli, sistem yang kompleks, atau bahkan jasa, seperti transaksi bank. Spesifikasi desain ditetapkan oleh perancang produk dan berupa dimensi, warna, bentuk, dan sebagainya. Inspeksi ini dilakukan sebelum, sesudah dan setelah proses manufaktur. Sebagai bagian dari pengendalian kualitas maka ada tiga fungsi khusus dari inspeksi, yaitu:

1. Mencegah kecacatan bahan atau produk dari proses berikutnya atau dari penjualan ke konsumen. Bisa dikatakan langkah ini melindungi konsumen.
2. Mengumpulkan data dari karakteristik tertentu dari suatu produk untuk di pakai pada keputusan secara menyeluruh tentang kualitas. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi ketidaksempurnaan untuk dapat dipertimbangkan sebagai produk cacat atau tidak.
3. Mengumpulkan data dari karakteristik tertentu dari suatu bahan atau produk untuk memberikan umpan balik tentang proses manufakturnya.

Inspeksi digunakan untuk beragam tujuan, diantaranya mengidentifikasi item atau lot yang baik dan buruk, mendeteksi perubahan proses, mengukur kapabilitas proses, menentukan kemampuan produk memenuhi harapan konsumen, menentukan ketepatan alat ukur, mengukur efektifitas dari inspektor, ukuran kualitas produk dan menjamin informasi desain produk. Setiap tujuan memiliki pengaruh tersendiri terhadap karakteristik inspeksi dan tata cara melakukannya.

Secara garis besar pekerjaan memeriksa pada industri di bagi menjadi dua yaitu inspeksi penerimaan dan inspeksi pengendalian proses. Inspeksi pengendalian proses memeriksa atau mengawasi bahan mentah atau produk akhir untuk ditentukan jenis "kerusakan" yang terjadi dan mencatat kecenderungan yang mungkin menurut waktu pengamatan agar mudah memperbaiki proses pembuatannya. Sedangkan inspeksi penerimaan

menentukan apakah suatu produk lolos untuk di jual sesuai dengan level kualitas tertentu atau dikembalikan untuk di proses kembali atau di buang.

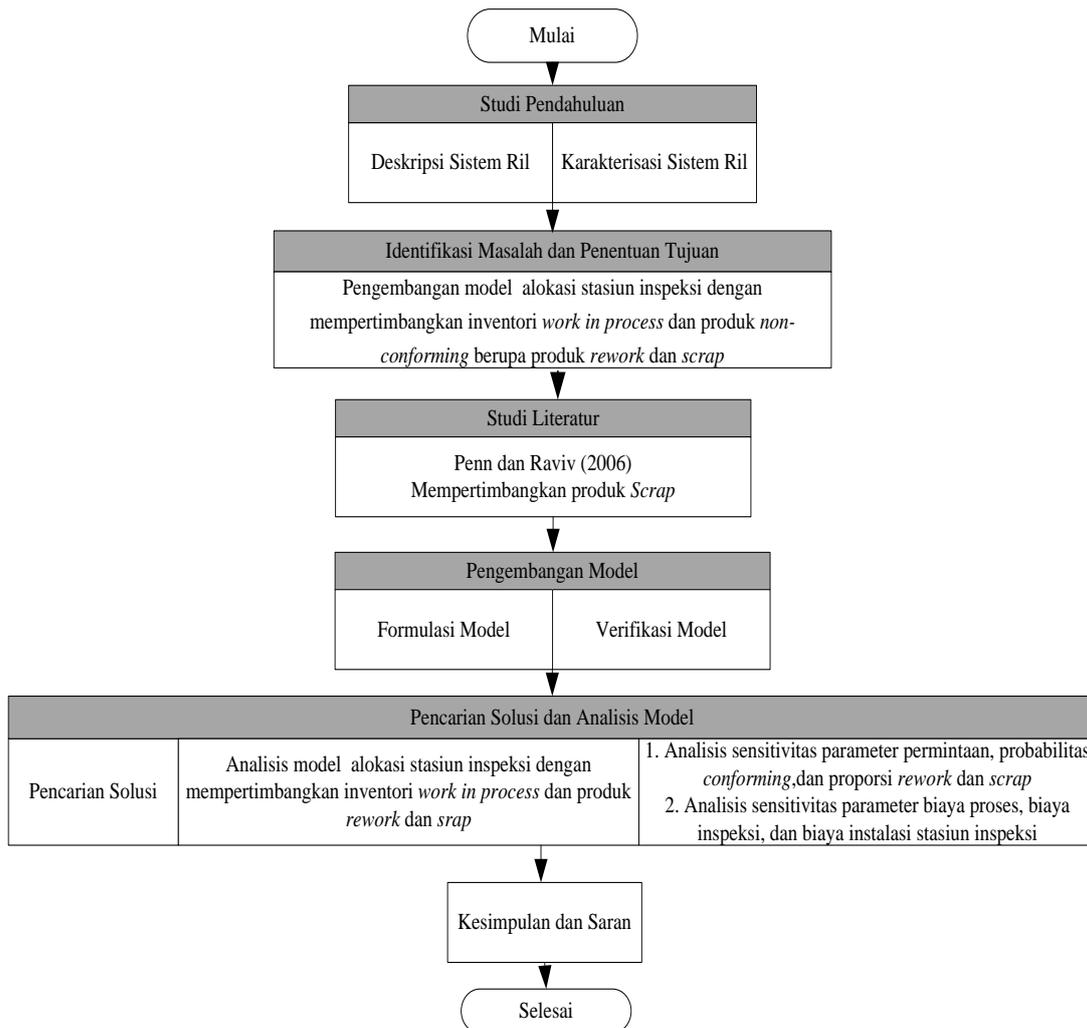
Output dari inspeksi adalah suatu keputusan untuk mengelompokkan produk yang di inspeksi sebagai produk yang *conform* atau *nonconform*, atau ada juga yang menggunakan istilah 'baik' dan 'cacat', 'terima' dan 'tolak' serta '*in control*' dan '*out of control*'. Produk yang *conform* atau di sebut *conforming item* adalah produk yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, sedangkan produk yang *nonconform* atau di sebut *nonconforming item* adalah produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Produk yang *nonconform* bila memungkinkan akan di-*repair* atau di-*scrap*. Setelah di-*repair* produk bisa memenuhi spesifikasi yang diinginkan atau tetap tidak bisa memenuhi namun masih dapat berfungsi. Produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi namun masih bisa berfungsi dengan baik biasanya dikelompokkan sebagai *fitenss for use* dan akan di jual ke konsumen dengan level kualitas yang lebih rendah dan harga yang lebih murah. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir adanya produk yang di-*reject*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mempermudah dan menyamakan pengertian dalam penelitian, maka penulis menggunakan istilah sebagai berikut:

1. Tujuan pengembangan model ini adalah untuk meminimumkan total biaya lintasan produksi. Total biaya lintasan produksi adalah biaya yang dikeluarkan untuk biaya proses, biaya *rework*, biaya menunggu *work in process* di proses dan di inspeksi, biaya instalasi stasiun inspeksi dan biaya *scrap*.
2. Variabel keputusan yang di cari adalah penempatan stasiun inspeksi pada aliran produksi dan jumlah stasiun inspeksi yang dialokasikan. Jumlah stasiun inspeksi optimal adalah jumlah minimum stasiun inspeksi yang dialokasikan untuk menginspeksi operasi-operasi yang sesuai sehingga biaya yang dikeluarkan minimum.

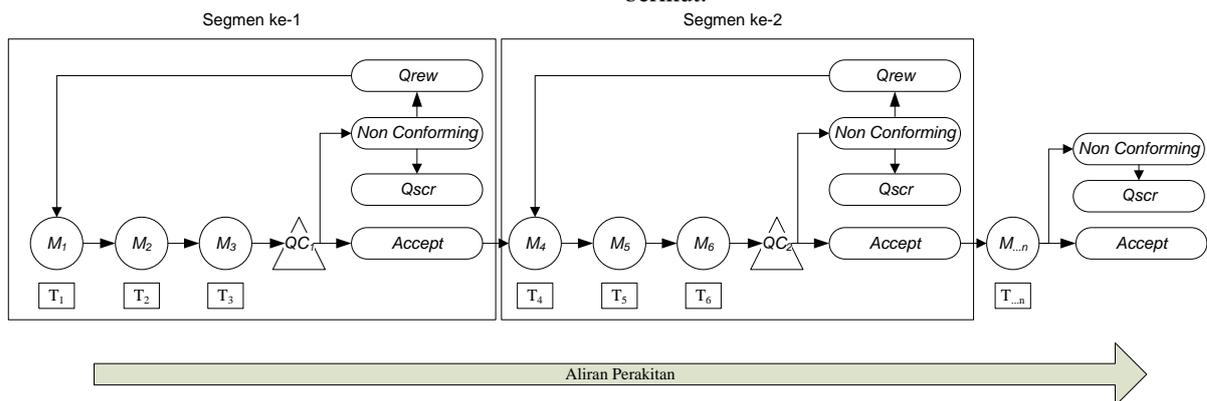
Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan pada gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Diagram Metode Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ilustrasi aliran produksi model usulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Aliran produksi model usulan

Keterangan gambar:

- $QC_{1..N}$ = Stasiun inspeksi (*Quality control station*)
- Q_{rew} = Produk *rework*
- Q_{scr} = Produk *scrap*
- $M_{1..N}$ = Stasiun kerja (*Workstation*)
- $T_{1..N}$ = Operasi

Gambar 8 menjelaskan bahwa setiap stasiun kerja pada aliran produksi saling terhubung secara serial. Setiap stasiun kerja hanya dapat mengerjakan satu operasi secara bergantian dan operasi yang dilakukan adalah operasi yang unik atau tidak dapat dikerjakan di stasiun yang lainnya. Untuk dapat mengerjakan operasi ke-2 di stasiun kerja ke-2 maka operasi pendahulunya harus sudah selesai dilakukan terlebih dahulu, sehingga aliran produk akan mengalir dan melewati stasiun pertama hingga stasiun terakhir. Setiap produk membutuhkan rangkaian proses operasi sebelum produk itu selesai dikerjakan. Terdapat 2 jenis *output* produk yang dihasilkan oleh stasiun kerja (M_i) menuju stasiun inspeksi (QC_i) yaitu *accept*, dan *nonconforming*. *Output* berupa *accept* akan di terima oleh stasiun inspeksi dan diteruskan ke stasiun kerja selanjutnya, sedangkan *output* produk berupa *nonconforming* akan dipisahkan oleh stasiun inspeksi menjadi dua jenis yaitu *scrap* dan *rework*. Masing-masing produk *nonconforming* memiliki besar proporsi.

Pada model penelitian ini juga dikembangkan suatu kondisi jika pada stasiun kerja akhir di aliran produksi tidak terdapat stasiun inspeksi maka produk *nonconforming* yang ada pada stasiun kerja tersebut seluruhnya akan menjadi produk *scrap*, karena tidak adanya stasiun inspeksi yang berfungsi untuk mengembalikan produk *rework* untuk di proses ulang.

A. Asumsi Sistem

Asumsi yang digunakan dalam model ini adalah:

1. Kemampuan stasiun kerja dalam bekerja lebih besar daripada jumlah laju kedatangan bahan baku produk sehingga aliran produksi dalam kondisi *steady state*.
2. Bahan baku yang digunakan dalam aliran produksi selalu tersedia.
3. Jika terjadi penumpukan produk yang menunggu untuk diproses atau diinspeksi di depan stasiun kerja, maka kapasitas *buffer*-nya tidak terbatas.
4. Setiap stasiun kerja memulai proses selanjutnya segera saat siap dan tersedia produk di *buffer*.
5. Pada setiap stasiun kerja memiliki biaya proses dan pada setiap stasiun inspeksi memiliki biaya inspeksi.
6. Waktu operasi dan inspeksi pada setiap stasiun kerja mengikuti *takttime*.
7. Tidak terdapat *error*/ kesalahan untuk setiap produk yang di inspeksi.
8. Probabilitas memproduksi produk *conforming* yang tiba di stasiun kerja tersebut, di ketahui dan konstan.
9. Probabilitas pekerjaan berhasil dan gagal pada setiap stasiun kerja adalah independen.
10. Produk *nonconforming* akan dipisahkan berdasarkan proporsi produk *rework* dan proporsi produk *scrap*.
11. Produk *rework* akan dikerjakan kembali dengan fasilitas yang sama.
12. Produk *scrap* akan dikeluarkan dari aliran produksi dan dikenakan biaya penalti.

B. Notasi Model Rancangan

Notasi yang digunakan pada model ini adalah sebagai berikut:

- I Stasiun kerja dan stasiun inspeksi, $i = 1 \dots k$
 a Laju kedatangan produk. (waktu/produk)
 ci Biaya proses pada stasiun kerja M_i . (rupiah/produk)
 $c'i$ Biaya inspeksi pada stasiun inspeksi QC_i , jika terpasang. (rupiah/produk)
 D Jumlah permintaan. (produk/periode)
 $f'i$ Biaya instalasi stasiun inspeksi QC_i . (rupiah/periode)
 hi Biaya simpan produk per unit waktu yang menunggu akan di proses pada stasiun kerja M_i . (rupiah/waktu/produk)
 $h'i$ Biaya simpan produk per unit waktu yang menunggu akan di inspeksi oleh stasiun inspeksi QC_i . (rupiah/waktu/produk)
 M_i Lokasi stasiun kerja pada aliran produksi.
 N Jumlah stasiun kerja pada aliran produksi.
 pi Probabilitas pekerjaan *conforming* setelah selesai di proses.
 pq_{scr} Proporsi produk *nonconforming* berupa *scrap*.
 pq_{rew} Proporsi produk *nonconforming* berupa *rework*.
 q_{ij} Probabilitas pekerjaan *conforming* selesai dikerjakan di stasiun kerja i tetap *conforming* setelah meninggalkan stasiun kerja j . Probabilitas independen p_i pada q_{ij} dinyatakan dengan:

$$q_{ij} = \prod_{i=1}^j p_i \quad \forall i \\ = 1 \dots k$$

- Q_{max} Ukuran lot produksi maksimum. (produk/periode)
 QC_i Stasiun inspeksi (*Quality Control Station*) yang di pasang setelah stasiun kerja M_i .
 r_B Biaya penalti untuk produk *scrap* dari produk *nonconforming* yang mengalir di sistem. (rupiah/produk)
 WC Kapasitas waktu kerja. (waktu/periode)
 WS Waktu siklus. (waktu/produk)
 xi Waktu proses dari stasiun kerja M_i . (waktu/produk)
 $x'i$ Waktu inspeksi dari stasiun inspeksi QC_i . (waktu/produk)
 B_i^{pm} Biaya proses dan menunggu produk pada stasiun kerja ke- i . (rupiah/produk)
 B_i^{im} Biaya inspeksi dan menunggu produk pada stasiun inspeksi ke- i . (rupiah/produk)
 B_i^{inst} Biaya instalasi stasiun inspeksi ke- i . (rupiah/periode)
 B_i^{scr} Biaya produk *scrap* pada stasiun kerja ke- i . (rupiah/periode)
 $L_i(Y)$ Lokasi terakhir dari stasiun inspeksi QC_i terpasang sebelum stasiun kerja M_i pada konfigurasi Y .
 Q Ukuran lot produksi. (produk/periode)
 Q_{scr} Jumlah produk *scrap*. (produk/periode)
 Q_{rew} Jumlah produk *rework*. (produk/ periode)
 t *Takttime* pada lintasan produksi. (waktu/produk)

- w_i Waktu menunggu produk untuk di proses/ inspeksi.
(waktu/produk)
 Y_i Konfigurasi stasiun inspeksi dengan $Y_i = 1$
mengindikasikan bahwa stasiun inspeksi QC_i
terpasang, sebaliknya jika $Y_i = 0$ mengindikasikan
bahwa stasiun inspeksi QC_i tidak terpasang.
 TC Total biaya produksi (rupiah/periode)

C. Pengembangan model

1. Pendekatan *Just In Time* dalam pemenuhan *demand*.

Konsep ini digunakan untuk mengatasi masalah produk tersedia tepat pada waktunya baik dalam jumlah dan tempat sehingga tingkat persediaan dapat di tekan seminimal mungkin karena hanya memproduksi apa yang dibutuhkan dan hanya pada saat dibutuhkan dalam jumlah yang diperlukan. Dengan menggunakan sistem ini, aliran produksi dapat mengakomodir perubahan permintaan dengan tetap menjaga tingkat persediaan seminimal mungkin.

Pada pengembangan model penelitian ini setiap stasiun kerja memiliki probabilitas yang independen dalam menghasilkan produk *nonconforming* berupa produk *rework* dan produk *scrap*. Produk *scrap* yang teridentifikasi oleh stasiun inspeksi akan dikeluarkan dari aliran produksi sehingga mengurangi jumlah *output* dari lintasan produksi dan berakibat terganggunya pemenuhan jumlah permintaan. Untuk bisa memenuhi jumlah permintaan maka *output* dari lintasan produksi harus sesuai dengan jumlah permintaan. Besarnya aliran produksi harus memproduksi supaya dapat memenuhi jumlah permintaan dijelaskan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah permintaan} = \text{Output produksi} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Input lot produksi}(Q) \\ = \text{Jumlah permintaan}(D) \\ + \text{Jumlah scrap}(Q_{scr}) \end{aligned} \quad (2)$$

2. Perhitungan *takttime*

Untuk menekan tingkat persediaan, maka aliran produksi hanya membuat sejumlah yang diperlukan berdasarkan *takttime*. Selain itu untuk menentukan ritme produksi diperlukan *takttime* yang mengatur laju setiap stasiun kerja bekerja. *Takttime* ini menjadi acuan seberapa cepat lintasan produksi harus bekerja dalam memenuhi permintaan. Nilai *takttime* dalam pengembangan model penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

$$\text{Takttime}(t) = \frac{\text{Kapasitas jam kerja}(WC)}{\text{Input lot Produksi}(Q)} \quad (3)$$

Namun sebelum mengaplikasikan *takttime*, kemampuan maksimum lintasan produksi dalam menghasilkan produk harus di ketahui terlebih dahulu. Hal ini bisa dilakukan dengan melihat dari waktu siklus aliran produksi. Ekspektasi jumlah produk yang dapat dihasilkan dalam 1 hari dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Input lot produksi maksimum}(Q_{max}) \\ = \frac{\text{Kapasitas jam kerja}(W)}{\text{Waktu siklus}(WS)} \end{aligned} \quad (4)$$

3. Model Antrian [M/M/1] Pada Kondisi *Steady State*.

Dalam sebuah lintasan produksi yang terdiri dari beberapa stasiun kerja yang sedang melakukan aktivitas produksi, akan terdapat antrian produk yang menunggu untuk diproses. Antrian itu sendiri timbul karena adanya kemampuan stasiun kerja dalam bekerja dan laju kedatangan produk yang datang ke stasiun kerja. Jika kemampuan stasiun kerja lebih besar daripada rata-rata jumlah laju kedatangan produk maka kondisi tersebut disebut kondisi *steady-state*. Kondisi ini harus terpenuhi dalam suatu lintasan produksi supaya aliran produksi tidak tersendat. Pada penelitian ini asumsi kondisi *steady-state* terpenuhi apabila $a < \frac{1}{t}$, di mana a adalah jumlah rata-rata laju kedatangan yang mengikuti distribusi *poisson*, sedangkan $\frac{1}{t}$ adalah *takttime* yang mengatur laju waktu pelayanan stasiun kerja dan stasiun inspeksi yang mengikuti distribusi *eksponensial*.

Pada model ini terdapat satu fasilitas pelayanan yaitu stasiun kerja, kapasitas pelayanan stasiun kerja dan sumber kedatangan produk tak terbatas. Berdasarkan informasi tersebut dapat di hitung ukuran kinerja waktu menunggu yang diperkirakan dalam antrian (W_i). Melalui model antrian yang disajikan di lampiran, dalam kondisi *steady state* dapat ditunjukkan bahwa waktu menunggu produk untuk di proses yang diperkirakan dalam antrian yaitu sebagai berikut:

$$w_i = \frac{\frac{1}{a}}{\frac{1}{t} \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{a} \right)} \quad (5)$$

4. Komponen Model

Variabel Keputusan

Variabel keputusan model penelitian ini yaitu $Y_i = 1$ mengindikasikan bahwa stasiun inspeksi QC_i terpasang, sebaliknya jika $Y_i = 0$ mengindikasikan bahwa stasiun inspeksi QC_i tidak terpasang.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan model ini yaitu meminimumkan total biaya produksi (TC). Total biaya produksi (TC) dijelaskan sebagai berikut:

Total biaya produksi = ((Ukuran lot produksi + Ukuran lot produk *rework*) x (Total biaya proses dan menunggu + Total biaya inspeksi dan menunggu)) + Total biaya instalasi stasiun inspeksi + Total biaya produk *scrap*.

$$\min = TC \quad (6)$$

$$TC = \sum_{i=1}^k \left((Q + Q_{rew_i}) x (B_i^{pm} + B_i^{im}) \right) + B_i^{inst} + B_i^{scr} \quad (7)$$

$\forall i = 1 \dots k$

Ukuran lot produksi

Pada model penelitian ini setiap stasiun kerja memiliki probabilitas yang independen dalam menghasilkan produk

nonconforming berupa *scrap*. Produk *scrap* yang teridentifikasi oleh stasiun inspeksi akan dikeluarkan dari aliran produksi sehingga mengurangi jumlah *output* produk dari aliran produksi. Ukuran lot produksi merupakan jumlah *input* produksi yang harus disiapkan oleh lintasan untuk di proses sehingga menghasilkan jumlah *output* produk yang sesuai dengan jumlah permintaan. Besarnya ukuran lot produksi ditentukan dari jumlah permintaan di tambah jumlah produk *scrap* yang mungkin terjadi pada lintasan (model 8). Nilai Q_{scr} dibulatkan keatas menjadi bilangan bulat, supaya input ukuran lot produksi menjadi bilangan bulat. Jumlah produk *scrap* bergantung dari besarnya probabilitas produk *scrap* pada masing-masing stasiun kerja (model 9).

$$Q = D + @Roundup(Q_{scr}) \quad (8)$$

$$Q_{scr} = \sum_{i=1}^k (Y_i \times (1 - q_{ij}) \times Q \times pq_{scr}) + pq1 \quad \forall i = 1 \dots k \quad (9)$$

$$pq1 = \begin{cases} Y_k = 0; (1 - q_{jk}) \times Q \times (pq_{scr} + pq_{rew}) \\ Y_k = 1; 0 \end{cases} \quad \forall j = 1 \dots k \quad (10)$$

Pada model 10 menjelaskan jika di akhir lintasan pada stasiun kerja ke- k tidak terdapat stasiun inspeksi ($Y_k = 0$) maka proporsi produk *rework* dari stasiun kerja ke- j sampai ke- k di anggap sebagai produk *scrap* karena tidak adanya stasiun inspeksi untuk mengembalikan produk *rework* untuk dikerjakan ulang.

a. Ukuran lot produk *rework*

Ukuran lot produk *rework* dari stasiun kerja ke- j bila terdapat stasiun inspeksi QC_i . Produk *rework* terjadi karena produk yang di proses oleh stasiun kerja belum memenuhi spesifikasi yang ditentukan sehingga harus di proses ulang di stasiun kerja sebelumnya. Ukuran lot produk *rework* didapatkan dari proporsi produk *rework* dari probabilitas produk *nonconforming* yang mungkin terjadi di stasiun kerja n bila terdapat stasiun inspeksi QC_i , dan kemudian dikirimkan kembali ke stasiun kerja *upstream* untuk di proses ulang dengan menggunakan fasilitas yang sama (model 11). Ukuran lot produk *rework* dijelaskan sebagai berikut:

$$Q_{rew_i} = (1 - q_{ij}) \times Q \times pq2_i \quad \forall i = 1 \dots k \quad (11)$$

$$pq2_i = \begin{cases} Y_j = 0; 0 \\ Y_j = 1; pq_{rew} \end{cases} \quad \forall i = 1 \dots k \quad (12)$$

Pada model 12 menjelaskan jika tidak terdapat stasiun inspeksi ($Y_j = 0$) pada stasiun kerja ke- j proporsi produk *nonconforming* di stasiun kerja ke- i sampai ke- j di anggap seluruhnya sebagai produk *scrap* karena tidak adanya stasiun inspeksi untuk mengembalikan produk *rework* untuk dikerjakan ulang sehingga nilainya 0, namun jika terdapat

stasiun inspeksi ($Y_j = 1$) pada stasiun kerja ke- j maka di stasiun kerja ke- i sampai ke- j terdapat proporsi produk *rework* untuk dikerjakan ulang.

b. Biaya proses dan biaya menunggu per produk

Biaya proses merupakan biaya yang diperlukan untuk memproses produk pada stasiun kerja, sedangkan biaya menunggu merupakan biaya menunggu produk untuk di proses pada stasiun kerja. Biaya ini merupakan penambahan biaya proses per produk dengan biaya menunggu produk (model 13), dimana biaya menunggu didapatkan dari biaya menunggu proses per unit waktu di bagi dengan waktu menunggu produk untuk di proses. Waktu menunggu produk untuk di proses yang diperkirakan dalam antrian dijelaskan dalam model 14 dengan *takttime* pada model 15. Biaya proses per produk dan biaya menunggu per produk dijelaskan sebagai berikut:

$$B_i^{pm} = ci + \frac{hi}{wi} \quad \forall i = 1 \dots k \quad (13)$$

$$wi = \frac{\frac{1}{a}}{\frac{1}{t} \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{a} \right)} \quad (14)$$

$$t = \frac{W}{Q} \quad (15)$$

c. Biaya inspeksi dan biaya menunggu per produk

Biaya inspeksi merupakan biaya yang diperlukan untuk menginspeksi produk pada stasiun inspeksi dalam periode yang direncanakan, sedangkan biaya menunggu merupakan biaya menunggu produk untuk di inspeksi oleh stasiun kerja. Biaya ini merupakan penambahan biaya inspeksi per produk dengan biaya menunggu produk (model 16), di mana biaya menunggu didapatkan dari biaya menunggu inspeksi per unit waktu di bagi dengan waktu menunggu produk untuk di inspeksi. Waktu menunggu produk untuk di proses yang diperkirakan dalam antrian dijelaskan dalam model 17 dengan *takttime* pada model 18. Biaya ini diperhitungkan jika terdapat stasiun inspeksi ($Y_i = 1$) pada stasiun kerja. Biaya inspeksi dan biaya menunggu per produk adalah:

$$B_i^{im} = Y_i \times \left(c'i + \frac{h'i}{wi} \right) \quad \forall i = 1 \dots k \quad (16)$$

$$wi = \frac{\frac{1}{a}}{\frac{1}{t} \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{a} \right)} \quad (17)$$

$$t = \frac{W}{Q} \quad (18)$$

d. Biaya instalasi stasiun inspeksi

Biaya instalasi stasiun inspeksi merupakan biaya yang dibebankan setiap stasiun inspeksi di pasang. Biaya ini merupakan perkalian antara variabel biner $\{(Y_i = 1) \text{ jika terdapat stasiun inspeksi dan } (Y_i = 0) \text{ jika tidak terdapat stasiun inspeksi}\}$ dengan biaya instalasi stasiun inspeksi (model 19). Biaya ini diperhitungkan jika terdapat stasiun

inspeksi ($Y_i = 1$) pada stasiun kerja. Total biaya instalasi stasiun inspeksi adalah:

$$B_i^{inst} = Y_i \times f'_i \quad \forall i = 1 \dots k \quad (19)$$

e. Biaya produk *scrap*

Biaya produk *scrap* merupakan biaya yang diakibatkan karena produk yang di proses oleh stasiun kerja tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan dan tidak dapat di proses ulang namun masih mengalir di stasiun kerja. Biaya ini di hitung di setiap stasiun kerja sehingga bisa di anggap sebagai kerugian biaya kerja. Biaya ini merupakan perkalian antara probabilitas produk *nonconforming* dengan proporsi produk *scrap* yang kemudian dikalikan dengan biaya penalti (model 20). Biaya ini diperhitungkan di setiap stasiun kerja yang tidak terdapat stasiun inspeksi ($Y_i = 0$). Total biaya *scrap* adalah:

$$B_i^{scr} = (1 - Y_i) \times (1 - q_{ij}) \times Q \times r_B \times pq3_i \quad \forall i = 1 \dots k \quad (20)$$

$$pq3_i = \begin{cases} Y_j = 0 ; pq_{scr} + pq_{rew} \\ Y_j = 1 ; pq_{scr} \end{cases} \quad \forall i = 1 \dots k \quad (21)$$

Pada model 21 menjelaskan jika tidak terdapat stasiun inspeksi ($Y_j = 0$) pada stasiun kerja ke- j proporsi produk *rework* di stasiun kerja ke- i sampai ke- j di anggap sebagai produk *scrap* karena tidak adanya stasiun inspeksi untuk mengembalikan produk *rework* untuk dikerjakan ulang, namun jika terdapat stasiun inspeksi ($Y_j = 1$) pada stasiun kerja ke- j maka di stasiun kerja ke- i sampai ke- j hanya produk *scrap* yang diperhitungkan.

D. Pembatas (constraints)

1. *Takttime* harus lebih besar atau sama dengan waktu siklus.

Pembatas ini menjamin *takttime* tidak melebihi kemampuan maksimum lintasan produksi dalam menghasilkan produk

$$t \geq WS \quad (22)$$

2. *Takttime* harus lebih besar dari rata-rata laju kedatangan produk (asumsi *steady state*).

Pembatas ini menjamin kemampuan stasiun kerja yang ditunjukkan oleh *takttime* lebih besar daripada jumlah rata-rata laju kedatangan produk.

$$\frac{1}{a} < \frac{1}{t} \quad (23)$$

3. Variabel alokasi Y adalah variabel binary integer.

$$Y_i \in \{0,1\} \quad \forall i = 1 \dots k \quad (24)$$

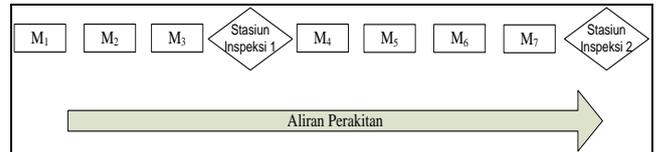
E. Pengujian Model & Analisis Hasil

Pada tabel 1 dapat dilihat hasil pengolahan model menghasilkan keputusan mengalokasikan stasiun inspeksi pada stasiun 3 dan stasiun ke 7 dengan total biaya sebesar Rp. 6.560.272. *Takttime* yang dihasilkan sebesar 10,76

menit dengan input produksi sejumlah 39 produk. Ilustrasi penempatan stasiun inspeksi digambarkan pada gambar 7.

TABEL I
HASIL MODEL USULAN

Permintaan	Stasiun Inspeksi	Takt time (menit)	Input Produksi produk	Total Cost (Rp)
35	3, 7	10, 76	39	6.560.272



Gambar 7. Ilustrasi penempatan stasiun inspeksi model usulan

Hasil pengembangan model diharapkan dapat membantu bagian produksi dalam menentukan lokasi stasiun inspeksi dengan cepat, efektif dan efisien sehingga dapat mengendalikan kualitas produk yang selesai di proses pada lintasan produksi. Hasil penerapan model usulan diperoleh hasil penempatan stasiun inspeksi untuk model usulan berada pada stasiun kerja ke-3 dan ke-7 dengan total biaya sebesar Rp. 6.560.272.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian maka di dapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini merupakan pengembangan model yang dikembangkan oleh Penn dan Raviv [6] [7], kemudian melalui penelitian ini model dikembangkan dengan produk *rework* dan *scrap* pada lingkungan *JIT* dalam penyediaan produk tepat waktu.
2. Berdasarkan analisis sensitifitas yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:
 - a. Jumlah permintaan yang berfluktuasi di dalam batas tidak dominan mempengaruhi terhadap keputusan yang akan dibuat menyangkut alokasi stasiun inspeksi.
 - b. Perubahan parameter proporsi produk *nonconforming* akan mempengaruhi keputusan secara langsung, karena semakin tinggi proporsi produk *scrap* maka jumlah produk yang harus di produksi semakin besar. Dengan membesarnya proporsi produk *scrap* akan membuat jumlah stasiun inspeksi yang di pasang akan semakin banyak untuk mengantisipasi biaya penalti yang tinggi akibat produk *scrap* mengalir di lintasan produksi. Proporsi produk *rework* sebesar 0,5 dan produk *scrap* sebesar 0,5 mulai merubah alternatif keputusan yang dibuat.
 - c. Perubahan parameter probabilitas *conforming* akan mempengaruhi keputusan secara langsung, karena semakin rendah probabilitas *conforming* maka jumlah produk yang harus di produksi akan semakin besar. Semakin tinggi probabilitas *conforming* maka jumlah

- stasiun inspeksi akan semakin sedikit. Dengan meningkatkan probabilitas produk *conforming* akan merubah alternatif keputusan yang dibuat.
- d. Perubahan parameter biaya akan mempengaruhi terhadap keputusan yang akan di buat menyangkut konfigurasi optimal alokasi stasiun inspeksi. Parameter ini berpengaruh terhadap jumlah stasiun inspeksi yang bisa dipasang yang nantinya akan mempengaruhi solusi keputusan yang bisa diambil. Dengan meningkatkan biaya yang terdiri dari biaya proses, biaya inspeksi dan biaya instalasi stasiun inspeksi maka akan merubah alternatif keputusan yang dibuat.

REFERENSI

- [1] G.F. Lindsay and A.B. Bishop, "Allocation of Screening Inspection Effort: A Dynamic Programming Approach". *Management Science* 10, 342-352, 1964.
- [2] S.D.P. Flapper, J.C. Fransoo, R.A.C.M. Broekmeulen and K. Inderfurth, "Planning and control of rework in the process industries: a review". *Production Planning & Control*, Vol. 13(1), pp. 26-34, 2002.
- [3] Z. Drezner, H. Gurnani, R. Akella. "Capacity planning under different inspection strategies". *European Journal of Operational Research*, 89:302-312, 1996.
- [4] J.K. Liker, "*The Toyota Way* : 14 Prinsip Manajemen dari Perusahaan Manufaktur Terhebat di Dunia". Erlangga, Jakarta, Indonesia, 2006.
- [5] J. Womack and D.T. Jones, "Lean Thinking", *Simon & Schuster*: New York, 1996.
- [6] M. Penn and T. Raviv, "A Polynomial Time Algorithm for Solving a Quality Control Station Configuration Problem". *Discrete Applied Mathematics*, to Appear, 2006.
- [7] M. Penn and T. Raviv, "Optimizing the Quality Control Station Configuration". *Naval Res Logist*, 54, 301-314, 2006.