

ABSTRAK

PENJADWALAN *BATCH* PADA *FLOW SHOP* HIBRID TIGA TAHAP UNTUK MEMINIMASI TOTAL WAKTU TINGGAL AKTUAL

Oleh

Rahmi Maulidya

NIM: 33413002

(Program Studi Doktor Teknik dan Manajemen Industri)

Penelitian *flow shop* hibrid tiga tahap atau *three stage hybrid flow shop* terdiri dari Tahap Pemesinan, Tahap Perakitan dan Tahap Diferensiasi menghasilkan produk yang berbeda tipe. Tahap Pemesinan memiliki mesin paralel independen (*unrelated*) yang masing-masing memproduksi *part* umum dan *part* unik. *Part* umum adalah *part* yang sama untuk semua produk, diproduksi dalam *batch*, dan *part* unik adalah *part* yang spesifik untuk setiap produk, diproses satu per satu. Pada Tahap Perakitan, *part* umum dan *part* unik yang telah tersedia akan dirakit mengikuti struktur produk. Hasil rakitan tersebut menerima proses terakhir pada Tahap Diferensiasi untuk menjadi produk akhir yang berbeda tipe. Pemrosesan semua produk akan selesai pada saat tenggatnya yang majemuk. Permasalahan dalam disertasi ini adalah menentukan jadwal produksi untuk *flow shop* hibrid tiga tahap.

Kriteria pada model penjadwalan yang dikembangkan dalam penelitian disertasi ini adalah meminimumkan total waktu tinggal aktual dengan mempertimbangkan kondisi saat tenggat tunggal dan majemuk. Waktu tinggal aktual menyatakan interval waktu *part* berada di rantai produksi mulai saat *part* datang hingga saat tenggat *part* tersebut. Kriteria ini memberi pengaruh bahwa kedatangan *part* dapat disesuaikan dengan saat mulai produksi *part* tersebut (tidak pada waktu nol) dan jadwal produksi disusun mulai dari saat tenggat sehingga produksi yang direncanakan dalam horizon perencanaan akan selesai tepat pada saat tenggat.

Penelitian disertasi ini diawali dengan pengembangan model penjadwalan *job* dengan pendekatan mundur dan kondisi saat tenggat tunggal dalam model non linier dan model pemrograman linier (**Model 1A**). Pengembangan berikutnya diarahkan pada permasalahan *batch* untuk model penjadwalan *batch* non linier dan model pemrograman linier (**Model 2**). Dalam penelitian disertasi ini, perbedaan penanganan *part* umum yang diproduksi dalam suatu *batch* dan *part* unik yang diproses satu per satu akan menjadi bagian dari pengembangan model penjadwalan *batch* dengan struktur perakitan satu level (**Model 3A**) dan struktur perakitan lebih dari satu level (**Model 4A**) untuk kondisi saat tenggat tunggal. Pengembangan selanjutnya adalah mempertimbangkan saat tenggat majemuk dimulai dari Model

1A dikembangkan menjadi **Model 1B**, Model 3A dikembangkan menjadi **Model 3B** dan **Model 3C**, serta Model 4A dikembangkan menjadi **Model 4B**.

Pada setiap model yang dikembangkan, diusulkan algoritma heuristik menggunakan metode *Shortest Processing Time (SPT)* dan metode *Variable Neighbourhood Descent (VND)* dengan operator *insert move* dan *swap move*. Metode *SPT* memiliki kemampuan untuk menentukan *sequence* berdasarkan waktu proses yang terkecil, dan dianggap sesuai dalam menghasilkan solusi awal. Optimasi solusi dilanjutkan dengan metode *VND* yang memiliki pola yang deterministik dan terarah dalam menentukan pembentukan *sequence*. Operator *insert move* dan *swap move* dipilih sebagai operator yang menentukan pola pembentukan *sequence* secara sederhana, yang diawali dengan pergeseran posisi dan kemudian pada solusi terbaik dilakukan pertukaran antara dua posisi.

Pengembangan Model 1 dilakukan dengan mengubah model acuan sistem tiga tahap dari *forward scheduling* menjadi *backward scheduling* dengan menerapkan saat tenggat dan mengganti fungsi tujuan menjadi total waktu tinggal aktual. Pengembangan pada kondisi saat tenggat tunggal menghasilkan Model 1A non linier, Model 1A linier sebagai hasil melinierkan persamaan yang mengandung fungsi minimum dan perkalian antara dua variabel biner, dan algoritma heuristik. Proses linierisasi menyebabkan Model 1A memiliki waktu komputasi dan jumlah iterasi yang lebih singkat, sehingga dalam waktu dua jam dapat menyelesaikan permasalahan jumlah *job* yang lebih besar yaitu $J=12$ dan $J=16$. Hasil analisis numerik Model 1A menunjukkan bahwa penambahan mesin pada Tahap Diferensiasi lebih mempengaruhi nilai *TAFT* dibandingkan dengan penambahan mesin pada Tahap Pemesinan.

Model 2 mulai dikembangkan dalam Model 2A untuk penjadwalan *batch* pada Tahap Pemesinan dan penjadwalan *job* pada Tahap Perakitan dan Tahap Diferensiasi. Proses linierisasi Model 2A menghasilkan persamaan pembatas yang linier, kecuali pada persamaan fungsi tujuan yang masih mengandung perkalian antara dua variabel keputusan. Namun demikian, hasil tetap menunjukkan pengurangan jumlah iterasi dan waktu komputasi. Perbedaan pada algoritma heuristik terdapat proses pembentukan *sequence batch* yang mengelompokkan *job* dengan tipe yang sama berdasarkan susunan dari *sequence job*.

Pengembangan dilanjutkan dengan Model 2B untuk penjadwalan *batch* pada semua tahap. Model optimasi yang dihasilkan menunjukkan bahwa skenario jumlah *batch* yang berbeda memberikan nilai total waktu tinggal aktual yang lebih kecil dibandingkan skenario jumlah *batch* yang sama untuk ketiga tahap. Pada Model 2B ini diusulkan algoritma heuristik seperti Model 2A, perbedaannya adalah pada proses pembentukan *sequence batch* berasal dari *sequence job* yang berbeda pada setiap tahap dengan penentuan jumlah *batch* dan ukuran *batch* untuk Tahap Perakitan dan Tahap Diferensiasi. Hasil menunjukkan adanya perbedaan dalam penentuan ukuran *batch* pada model optimal dan pada algoritma heuristik.

Model 3A mengembangkan penjadwalan *part* umum dan *part* unik pada Tahap Pemesinan, dan penjadwalan *job* pada Tahap Perakitan dan Tahap Diferensiasi pada

kondisi saat tenggat tunggal. Model optimal dikembangkan dengan *part* umum yang dikelompokkan dalam *batch* dan *part* unik yang diproses satu per satu sebagai *job*. *Batch* dan *job* disusun dalam urutan baru untuk menghasilkan nilai total waktu tinggal aktual yang minimum. Algoritma memiliki perbedaan pada proses pembentukan *sequence batch* dan *job*, yang disusun dengan memanfaatkan *sequence job* dan *sequence batch* yang dihasilkan sebelumnya. Model 3A ini kemudian dikembangkan menjadi Model 3B untuk pemrosesan produk yang berbeda tipe dengan mempertimbangkan saat tenggat majemuk.

Model 4A merupakan pengembangan dari Model 3A yaitu penjadwalan *part* umum dan *part* unik pada Tahap Pemesinan, penjadwalan *job* pada Tahap Perakitan untuk operasi perakitan dengan struktur perakitan yang kompleks yang terdiri dari lebih dari satu level perakitan dan penjadwalan *batch* pada Tahap Diferensiasi. Model optimal dikembangkan dengan merakit *part* umum yang diproduksi dalam *batch* dan *part* unik yang diproduksi sebagai *job*, yang berasal dari mesin yang sama pada Tahap Pemesinan. Hasil rakitan berupa pasangan *part* umum-*part* unik akan dirakit dengan pasangan lain dalam beberapa level perakitan. Pada algoritma heuristik dijalankan dua skenario yaitu pendekatan *sequence* sama dan pendekatan *sequence* berbeda untuk setiap tahapnya. Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa pendekatan *sequence* berbeda pada setiap tahap memberikan nilai *TAFT* yang lebih kecil dibandingkan pendekatan *sequence* sama untuk semua tahap.

Model 1B, Model 3B, Model 3C dan Model 4B adalah pengembangan penjadwalan dengan kondisi saat tenggat majemuk. Pada Model 1B, setiap produk diwakili oleh *job* yang memiliki saat tenggat yang berbeda. Model optimal dikembangkan berdasarkan saat tenggat untuk setiap *job* dan *job* hanya dapat diproses bila tidak mengganggu waktu pemrosesan *job* yang telah dijadwalkan sebelumnya. Perbedaan pada algoritma dimulai dengan mengelompokkan *job* sesuai saat tenggat dan *sequence* yang pertama disusun sesuai kelompok saat tenggatnya.

Model 3C merupakan pengembangan dari Model 3B dengan menerapkan penjadwalan *batch* pada Tahap Diferensiasi untuk kondisi saat tenggat majemuk. Pada model ditentukan saat tenggat *batch* yang merupakan nilai minimum dari saat tenggat *job* yang menjadi anggota *batch* tersebut. Namun *batch* pada Tahap Diferensiasi memiliki ukuran *batch* yang berbeda dengan *batch* pada Tahap Pemesinan sehingga perhitungan total waktu tinggal aktualnya akan melibatkan *batch* yang berbeda. Perbedaan algoritma adalah pada penentuan *sequence batch* pada Tahap Diferensiasi yang berasal dari *sequence job* yang sama untuk semua tahap.

Model 4B dikembangkan dari Model 4A dengan kondisi saat tenggat majemuk. Model optimal yang dikembangkan berdasarkan saat tenggat untuk setiap *job*. Pada Tahap Diferensiasi, saat tenggat ditentukan berdasarkan saat tenggat yang paling minimum di antara *job* dalam *batch*. Fungsi tujuan total waktu tinggal aktual akan menghitung setiap *part* yang diproduksi pada Tahap Pemesinan sampai pada saat tenggat tertentu untuk menghasilkan produk akhir.

Validasi dilakukan terhadap Model 4A dengan menggunakan kasus real pada industri yang memproduksi *platen* dan *roller assy*. Penyesuaian dari Model 4A dilakukan terhadap model optimal dengan menambahkan proses diantara operasi perakitan dan proses tambahan pada Tahap Pemesinan. Hasil validasi pada model optimal untuk kasus yang kecil dan algoritma heuristik untuk kasus yang lebih besar menunjukkan bahwa model mampu menghasilkan jadwal dengan nilai *TAFT* minimum.

Kata kunci: penjadwalan *batch*, *flow shop* hibrid tiga tahap, *part* umum dan *part* unik, hirarki struktur perakitan, total waktu tinggal aktual, saat tenggat tunggal dan majemuk