

Optimasi Proyek *New Sulphuric Acid Plant* Akibat Perubahan Progres Terhadap Alokasi Manpower Dengan Menggunakan Metode Non Linier Programming

M. Fahmi Abdillah Gym.^{1*}, R. Dimas Endro Witjonarko.², Nurvita Arumsari.³

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*2*3}

Email: mfahmi@student.ppns.ac.id^{1*}; dimasend@ppns.ac.id^{2*}; arum@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - Construction of *New Sulphuric Acid Plant* in Gresik in a company engaged in the textile industry to support the company's expansion process in accordance with the government's mandate in the textile industry. The construction of this project must be completed in accordance with the schedule. If this project is delayed, a penalty of 0.1% of the project value will be imposed. But in fact in the construction process, this project experienced delays caused by a shift in the allocation of manpower which resulted in disruption of progress between one work scope and another. The shift was caused by instructions from the main contractor that were not in accordance with the schedule that had been made. Therefore, it is necessary to optimize the work so that the project can be completed according to the completion schedule. In this final project, cost and duration optimization will be carried out using the Non-Linear Programming (NLP) method. The *New Sulphuric Acid Plant* project with WBS which includes Mechanical, Structure, and Piping work experiences field productivity that is not according to plan, so optimization is carried out. Furthermore, an analysis is carried out to obtain the optimum project duration at a minimum cost so that the best option is produced to minimize losses. The results of optimizing the duration of the 3 work scopes to 269 days in all work scopes from the initial duration of 386 days, 274 days, and 317 days. As for the cost of this optimization, it only saves Rp. 2,300,755 (0.04%) of the actual cost but in this optimization the project does not experience delays (< 360 days) and will not be subject to fines or penalties. Based on the S curve, 100% progress on the original plan ended in September 2023, the actual ended in November 2023, and after the second optimization, 100% progress was achieved at the end of October 2023.

Keyword: Project Optimization, Non Linear Programming, Manpower Allocation, Construction Project, Cost and Duration.

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu proyek konstruksi pelaksanaan kegiatan selalu dipengaruhi oleh hambatan dan kendala, baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap jangka waktu dan biaya proyek secara keseluruhan, yang menyebabkan adanya peningkatan anggaran proyek yang tidak diantisipasi. Salah satu perusahaan peleburan dan penyulingan tembaga internasional yang bertempat di Gresik, Jawa Timur saat ini sedang membangun pabrik asam sulfat baru di Gresik untuk meningkatkan kapasitas produksinya. Pabrik ini diharapkan selesai pada akhir 2023 dan akan meningkatkan produksi asam sulfat hingga 275 juta ton per tahun. Untuk mewujudkan upgrade sistem proses ini tentu juga pihak pemilik perusahaan memerlukan jasa kontrak Pembangunan dengan Perusahaan Konstruksi EPC (*Engineering procurement and Construction*). Keterlambatan pelaksanaan proyek selalu membawa akibat yang cukup merugikan bagi

pelaksana proyek, seperti biaya yang meningkat, denda, dan penurunan mutu akibat percepatan pekerjaan dari jadwal yang ditentukan. Keterlambatan proyek akibat manpower atau

manhours dapat terjadi karena kurangnya tenaga kerja dilapangan atau ketidaksesuaian penjadwalan manpower terhadap *schedule*

pekerjaan yang tidak sesuai dengan *schedule* yang telah ditentukan diawal project. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi apabila terjadi perubahan durasi akibat keterlambatan suatu pekerjaan. Untuk mengatasi keterlambatan pada proyek, manajemen proyek dapat menggunakan metode NLP (*Non Linier Programming*). Metode NLP (*Non Linier Programming*) digunakan untuk merencanakan optimasi pekerjaan proyek yang efisien melalui analisis berapa lama suatu proyek tersebut diselesaikan. Metode NLP merupakan analisa jaringan kerja yang berupaya mengoptimalkan produktivitas dan untuk menghitung durasi yang

optimal dari adanya ketidaksesuaian penjadwalan manpower terhadap schedule yang telah dibuat.

2. METODOLOGI

2.1 Bentuk Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Non Linear Programming (NLP). Metode ini digunakan untuk mengoptimalkan alokasi tenaga kerja dan durasi proyek. Data yang dikumpulkan meliputi jadwal proyek, alokasi tenaga kerja, dan biaya proyek. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak optimasi untuk menemukan solusi optimal.

2.2 Metode Non Linear Programming

1. Variabel Keputusan:

- x_{ij} : Jumlah tenaga kerja (pekerja) yang dialokasikan ke lokasi i oleh pekerja j , dengan $i = 1, 2, 3$ (3 lokasi) dan $j = 1, 2, \dots, m$ (jumlah pekerja).
- t_{ij} : Waktu yang dibutuhkan oleh pekerja j untuk menyelesaikan pekerjaan di lokasi i .
- p_{ij} : Tingkat produktivitas pekerja j di lokasi i .
- c_{ij} : Biaya yang terkait dengan alokasi pekerja j ke lokasi i , misalnya, biaya per jam atau biaya per pekerja

2. Fungsi Tujuan:

- Minimalkan biaya total atau waktu total yang bersifat non-linear, dalam hal ini misalnya, $Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^m f(c_{ij}, t_{ij}, p_{ij}) * x_{ij}$ di mana f adalah fungsi non-linear yang mencakup biaya, waktu, dan produktivitas. Dengan fungsi $f(C_{ij}, t_{ij}, p_{ij})$ sesuai dengan preferensi dan asumsi spesifik, juga dapat menggunakan pendekatan $f(C_{ij}, t_{ij}, p_{ij}) = C_{ij} * t_{ij} * e^{-p_{ij}} * x_{ij}$

Setelah memasukkan fungsi pendekatan tersebut ke dalam model matematis, fungsi minimize cost juga dapat dikerjakan dengan model matematis berikut :

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^m C_{ij} * t_{ij} * e^{-p_{ij}} * x_{ij}$$

3. Kendala

- Ketersediaan Tenaga Kerja $\sum_{i=1}^3 x_{ij} \leq K, \forall j$ Dimana K adalah jumlah pekerja yang tersedia.
- Kapasitas Lokasi $\sum_{i=1}^3 x_{ij} \leq C_i, \forall i$ Dimana C_i adalah kapasitas maksimum pekerjaan yang dapat ditangani di lokasi i .
- Non-Negativitas

$$x_{ij} \geq 0, \forall i, \forall j$$

$$t_{ij} \geq 0, \forall i, \forall j$$

$$p_{ij} \geq 0, \forall i, \forall j$$

$$c_{ij} \geq 0, \forall i, \forall j$$

Kendala-kendala ini memastikan bahwa alokasi tenaga kerja tidak melebihi jumlah yang tersedia, alokasi pekerjaan di setiap lokasi tidak melebihi kapasitasnya, dan bahwa semua variabel adalah non-negatif..

Dengan memperhitungkan kendala-kendala ini kita dapat menghasilkan Solusi yang memenuhi batasan-batasan dan meminimalkan fungsi tujuan.

4. Batasan

- Setiap pekerja harus dialokasikan ke satu lokasi atau lebih : $\sum_{i=1}^3 x_{ij} \geq 1$, untuk setiap j .
- Batasan yang mengatur ketergantungan antar tugas, seperti tugas yang harus diselesaikan sebelum tugas lain dapat dimulai. Misalnya:

$$x_{ij} + x_{kl} \leq 1$$
Ini mengindikasikan bahwa jika tugas k harus diselesaikan sebelum tugas l dimulai, maka jumlah pekerjaan yang dialokasikan untuk tugas k dan l secara bersamaan tidak boleh melebihi 1
- Jumlah pekerja yang dialokasikan ke setiap lokasi tidak boleh melebihi kapasitas lokasi: $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \text{kapasitas}$, untuk setiap $i = 1, 2, 3$.
- Batasan sumber daya, misalnya, jumlah total pekerja yang tersedia: $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \text{total pekerja}$
- Batasan waktu proyek, misalnya, $\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^m t_{ij} * x_{ij} \leq \text{batas waktu atau } T_{\text{Total}}$.
Jika fungsi objektif atau batasan bersifat non-linear, NLP dapat menjadi pilihan yang tepat. Penggunaan solvers NLP atau algoritma khusus untuk menangani masalah non-linear akan diperlukan untuk mencari solusi optimal.

2.2.1 Penerapan Metode Non Linear Programming

Dalam penerapan metode *Non Linear Programming* mendefinisikan masalah optimasi secara matematis perlu dilakukan terlebih dahulu. Ini melibatkan identifikasi fungsi objektif yang akan dioptimalkan, variabel keputusan yang nilainya akan dicari, dan kendala yang harus dipenuhi oleh Solusi.

Setelah fungsi objektif dan kendala didefinisikan, selanjutnya adalah memilih metode optimasi yang sesuai. Salah satu dari Pustaka *python* menyediakan berbagai metode optimasi yang dapat digunakan, tergantung pada karakteristik masalah dan preferensi pengguna. Metode SLSQP misalnya, adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk masalah *Non Linear Programming* dengan kendala.

Dalam pustaka *python* untuk *Non Linear Programming* terdapat beberapa pustaka utama yang sering digunakan, setiap Pustaka ini memiliki peran penting dalam memfasilitasi berbagai aspek dari proses optimisasi. Dalam hal ini Pustaka yang akan digunakan yaitu *Pandas* yang digunakan untuk menyimpan data dalam bentuk *table (DataFrame)*, *SciPy* yang

2.3 Metode Non Linear Programming

5. Variabel Keputusan:
 - x_{ij} : Jumlah tenaga kerja (pekerja) yang dialokasikan ke lokasi i oleh pekerja j , dengan $i = 1, 2, 3$ (3 lokasi) dan $j = 1, 2, \dots, m$ (jumlah pekerja).
 - t_{ij} : Waktu yang dibutuhkan oleh pekerja j untuk menyelesaikan pekerjaan di lokasi i .
 - p_{ij} : Tingkat produktivitas pekerja j di lokasi i .
 - c_{ij} : Biaya yang terkait dengan alokasi pekerja j ke lokasi i , misalnya, biaya per jam atau biaya per pekerja
6. Fungsi Tujuan:
 - Minimalkan biaya total atau waktu total yang bersifat non-linear, dalam hal ini misalnya, $Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^m f(c_{ij}, t_{ij}, p_{ij}) * x_{ij}$ di mana f adalah fungsi non-linear yang mencakup biaya, waktu, dan produktivitas. Dengan fungsi $f(c_{ij}, t_{ij}, p_{ij})$ sesuai dengan preferensi dan asumsi spesifik, juga dapat menggunakan pendekatan $f(c_{ij}, t_{ij}, p_{ij}) = C_{ij} * t_{ij} * e^{-p_{ij}} * x_{ij}$

Setelah memasukkan fungsi pendekatan tersebut ke dalam model matematis, fungsi minimize cost juga dapat dikerjakan dengan medel matematis berikut :

minimiz $\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^m C_{ij} * t_{ij} * e^{-p_{ij}} * x_{ij}$
7. Kendala
 - Ketersediaan Tenaga Kerja $\sum_{i=1}^3 x_{ij} \leq K, \forall$ Dimana K adalah jumlah pekerja yang tersedia.
 - Kapasitas Lokasi $\sum_{i=1}^3 x_{ij} \leq C_i, \forall i$ Dimana C_i adalah kapasitas maksimum pekerjaan yang dapat ditangani di lokasi i .
 - Non-Negativitas
 - $x_{ij} \geq C_i, \forall i, \forall j$
 - $t_{ij} \geq C_i, \forall i, \forall j$
 - $p_{ij} \geq C_i, \forall i, \forall j$
 - $c_{ij} \geq C_i, \forall i, \forall j$

Kendala-kendala ini memastikan bahwa alokasi tenaga kerja tidak melebihi jumlah yang tersedia, alokasi pekerjaan di setiap lokasi tidak melebihi kapasitasnya, dan bahwa semua variabel adalah non-negatif..

Dengan memperhitungkan kendala-kendala ini kita dapat menghasilkan Solusi yang memenuhi batasan-batasan dan meminimalkan fungsi tujuan.

8. Batasan
 - Setiap pekerja harus dialokasikan ke satu lokasi atau lebih : $\sum_{i=1}^3 x_{ij} \geq 1$, untuk setiap j .
 - Batasan yang mengatur ketergantungan antar tugas, seperti tugas yang harus diselesaikan sebelum tugas lain dapat dimulai. Misalnya: $x_{ij} + x_{kl} \leq 1$ Ini mengindikasikan bahwa jika tugas k harus diselesaikan sebelum tugas l dimulai, maka jumlah pekerjaan yang dialokasikan untuk tugas k dan l secara bersamaan tidak boleh melebihi 1
 - Jumlah pekerja yang dialokasikan ke setiap lokasi tidak boleh melebihi kapasitas lokasi: $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \text{kapasitas}$, untuk setiap $i = 1, 2, 3$.
 - Batasan sumber daya, misalnya, jumlah total pekerja yang tersedia: $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \text{total pekerja}$.
 - Batasan waktu proyek, misalnya, $\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^m t_{ij} * x_{ij} \leq \text{batas waktu atau } T_{\text{total}}$. Jika fungsi objektif atau batasan bersifat non-linear, NLP dapat menjadi pilihan yang tepat. Penggunaan solvers NLP atau algoritma khusus untuk menangani masalah non-linear akan diperlukan untuk mencari solusi optimal.

2.2.1 Penerapan Metode Non Linear Programming

Dalam penerapan metode *Non Linear Programming* mendefinisikan masalah optimasi secara matematis perlu dilakukan terlebih dahulu. Ini melibatkan identifikasi fungsi objektif yang akan dioptimalkan, variabel keputusan yang nilainya akan dicari, dan kendala yang harus dipenuhi oleh Solusi.

Setelah fungsi objektif dan kendala didefinisikan, selanjutnya adalah memilih metode optimasi yang sesuai. Salah satu dari Pustaka *python* menyediakan berbagai metode optimasi yang dapat digunakan, tergantung pada karakteristik masalah dan preferensi pengguna. Metode SLSQP misalnya, adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk masalah *Non Linear Programming* dengan kendala.

Dalam pustaka *pyhton* untuk *Non Linear Programming* terdapat beberapa pustaka utama yang sering digunakan, setiap Pustaka ini memiliki peran penting dalam memfasilitasi berbagai aspek dari proses optimisasi. Dalam hal ini Pustaka yang akan digunakan yaitu *Pandas* yang digunakan untuk menyimpan data dalam bentuk table (*DataFrame*), *SciPy* yang digunakan untuk melakukan optimasi, *NumPy* yang digunakan untuk perhitungan matematis ,dan *Matplotlib* yang akan digunakan untuk visualisasi hasil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Data

Proyek *New Sulphuric Acid Plant* adalah salah satu proyek berskala besar yang berada di Gresik, Jawa timur, Dimana proyek ini akan memainkan peran penting dalam mendukung industri dan pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut. Semoga proyek ini berjalan lancar dan memberikan manfaat yang signifikan. Proyek ini bertujuan untuk mendukung proses ekspansi sesuai dengan amanat pemerintah. Dengan tambahan pabrik ini, produksi asam sulfat akan meningkat hingga 275 juta ton per tahun **atau** sekitar 1.200 juta ton per tahun. Dalam proyek ini di tempat saya melaksanakan *On The Job Training* mendapat proyek untuk penyelesaian 3 scope pekerjaan yang berbeda yaitu *Piping, Mechanical, dan Structure*.

3.2 Work Breakdown Structure (WBS) dan Durasi

Adapun Work Breakdown Structure (WBS) dan durasi yang telah dihitung sesuai data produktivitas aktual yang didapatkan dari perusahaan. Tabel 1 berikut menunjukkan WBS dan durasi dari masing-masing kegiatan:

Tabel 1 Work Breakdown Structure

WBS	ACTIVITY
1	Structure
1.1	Chipping Padding
1.2	Erection
1.3	Allignment and Tightening
1.4	Grouting and Punch Clear
2	Mechanical
2.1	Chipping Padding
2.2	Erection
2.3	Allignment and Tightening
2.4	Grouting and Punch Clear
3	Piping
3.1	Fit Up and Welding
3.2	NDT
3.3	Pressure Test
3.4	Reinstatement

3.3 Perhitungan Produktivitas

Setelah *Work Breakdown Structure* tersusun pekerjaan selanjutnya yaitu menentukan produktivitas pekerjaan. Produktivitas pekerjaan secara singkat dapat diartikan jumlah pekerjaan yang dapat diselesaikan dalam suatu waktu (jumlah pekerja / waktu). Dalam proyek *New Sulphuric Acid Plant* ini produktivitas yang digunakan berdasarkan produktivitas *actual*.

Divisi Structure :

- Volume Kerja : 1255 ton

- Produktifitas Harian : 0.542 ton per team/hari
- Manpower : 6 Team
- Durasi Aktual : 386 hari
- Durasi Rencana : 203 Hari

Divisi Mechanical :

- Volume Kerja : 1556 ton
- Produktifitas Harian : 0.811 ton per team/hari
- Manpower : 7 Team
- Durasi Aktual : 274 hari
- Durasi Rencana : 248 Hari

Divisi Piping :

- Volume Kerja : 5920 ton
- Produktifitas Harian : 2.667 ton per team/hari
- Manpower : 7 Team
- Durasi Aktual : 317 hari
- Durasi Rencana : 213 Hari

3.4 Pengoptimasian Durasi dan Manpower

Setelah adanya optimasi ulang dengan mengubah ‘Manpower Maksimum’ diasumsikan mengikuti jumlah yang paling besar yaitu dengan mengubahnya menjadi 11 di semua divisi pekerjaan. Dengan menggunakan fungsi-fungsi yang sudah ada dan merubah sedikit data yang ada dapat dilakukan pada pengoptimasian selanjutnya didapatkan hasil sebagai berikut :

Divisi Structure :

- Volume Kerja : 1255 ton
- Produktifitas Harian : 0.542 ton per team/hari
- Manpower : 6 Team
- Manpower Maksimum : 11 Team
- Durasi Aktual : 386 hari
- Durasi Rencana : 203 Hari
- Manpower Optimal : 8.61 Team
- Durasi Optimal : 268.88 Hari

Divisi Mechanical :

- Volume Kerja : 1556 ton
- Produktifitas Harian : 0.811 ton per team/hari
- Manpower : 7 Team
- Manpower Maksimum : 11 Team
- Durasi Aktual : 274 hari
- Durasi Rencana : 248 Hari
- Manpower Optimal : 7.13 Team
- Durasi Optimal : 268.87 Hari

Divisi Piping :

- Volume Kerja : 5920 ton
- Produktifitas Harian : 2.667 ton per team/hari
- Manpower : 7 Team
- Manpower Maksimum : 11 Team
- Durasi Aktual : 317 hari
- Durasi Rencana : 213 Hari
- Manpower Optimal : 8.25 Team
- Durasi Optimal : 268.88 Hari

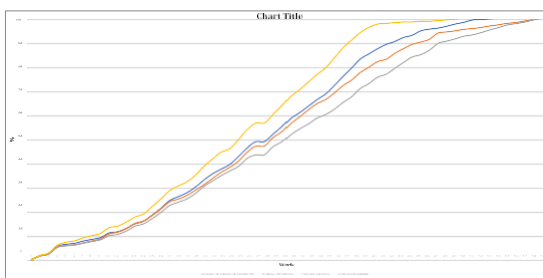
3.5 Perhitungan *Minimize Cost*

Setelah didapatkan hasil optimasi pada durasi dan produktifitas pada proyek tersebut, Langkah selanjutnya adalah menentukan perhitungan dan perbandingan *minimize cost* yang dapat diperoleh dari kondisi pembagian alokasi tenaga kerja sesuai perencanaan, actual dan yang telah dilakukan optimasi pada proyek dengan memasukkan data-data yang telah kita peroleh dari hasil optimasi pertama yang ada diatas dan yang telah kita ketahui diawal. Dan Hasil setelah adanya perubahan pada data dari optimasi manpower yang pertama didapatkan hasil yang sedikit memuaskan dengan adanya perubahan biaya optimasi dari yang melebihi biaya actual menjadi seperti sebagai berikut :

- Biaya sesuai perencanaan: Rp. 4.689.534.000
- Biaya actual: Rp. 5.658.642.000
- Biaya setelah optimalisasi kedua: Rp. 5.656.341.245
- Penghematan biaya dari perencanaan ke actual: Rp -969.108.000 (-20.67%)
- Penghematan biaya dari actual ke optimalisasi: Rp 2.300.755 (0.04%)
- Penghematan biaya dari perencanaan ke optimalisasi: Rp. - 966.807.245 (-20.62%).

3.6 Kurva S

Kurva S merupakan sebuah grafik yang memiliki fungsi menunjukkan hubungan antara presentasi pekerjaan yang harus diselesaikan dengan waktu dan satuan bobot persen. Kurva S pada *New Sulphuric Acid Plant* dengan durasi perencanaan, actual dan yang telah dilakukan optimasi dapat dilihat dibawah ini:



4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis pada penelitian terhadap waktu dan biaya yang optimum pada proyek *New Sulphuric Acid Plant* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Susunan WBS pada proyek *New Sulphuric Acid Plant* terdiri dari scope pekerjaan *Mechanical, Structure, dan Piping*
2. Berdasarkan data actual dari lapangan didapatkan hasil produktifitas yang tidak sesuai rencana dan telah dilakukan optimasi
3. Saat dilakukan optimasi durasi dan manpower yang kedua pada proyek *New Sulphuric Acid Plant* mendapatkan hasil yang berbeda yaitu

durasi menjadi 269 hari pada *Structure, Mechanical, dan Piping*

4. Hasil perhitungan *pada minimize cost* yang kedua didapatkan hasil jika biaya manpower actual lebih besar 20.67% dari biaya perencanaan dan biaya manpower pada optimasi lebih besar 20.62% dari biaya perencanaan. Dan proyek tidak mengalami keterlambatan (< 360 hari) serta mengalami Penghematan biaya dari actual ke optimalisasi: Rp 2.300.755 (0.04%)
5. Dari kurva S didapatkan bahwa progress 100% pada rencana awal berakhir pada bulan September 2023, pada actual berakhir pada November 2023, sedangkan setelah dilakukan optimasi pertama pada pekerjaan *structure dan mechanical* masih berakhir di bulan yang sama dengan waktu actual, dan setelah dilakukan optimasi yang kedua progress 100% didapatkan pada akhir bulan oktober 2023.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perkasa, N.P. (2021). Optimasi Waktu dan Biaya pada proyek *filling station on the spot* tahap 2 dengan metode *least cost analysis*.
- [2] Sofia, Ayu. dan Putri, Ananda, (2021). Analisis Perbandingan Penambahan Jam Kerja dan Tenaga Kerja terhadap Waktu dan Biaya Proyek dengan Metode Time Cost Trade Off. Prosiding The 12th Industrian Research Workshop and National Seminar, 864-854
- [3] Syachroni, Fajar, Haryono, Edi, Rizal, Choirul, (2021). Analisa Percepatan Waktu Penyelesaian Proyek Jaringan Gas Bumi Untuk Rumah Tangga Paket II Aceh Tamiang dengan Metode Crash Program dan Fast Track.
- [4] Riqi Efendi, M., Arum Sari, N., Choirul Rizal, M., (2020). Optimasi Penjadwalan Proyek North Acid Gas Flare Rdmp Ru-V Balikpapan Melalui Lintasan Kritis Pdm Dan Percepatan Crash Duration. Proceedings Conference on Piping Engineering and Its Application 5(1), 276–281.Surabaya