



Berbagai Pendekatan Penjadwalan Produksi dan Penjadwalan lainnya di Industri Pertambangan

Heru Sendia Febian
Balai Pendidikan dan Pelatihan
Tambang Bawah Tanah

Irwan Munandar
Balai Pendidikan dan Pelatihan
Tambang Bawah Tanah

Index Terms—*Mine, Computer Science, Production Scheduling, Scheduling.*

I. PENDAHULUAN

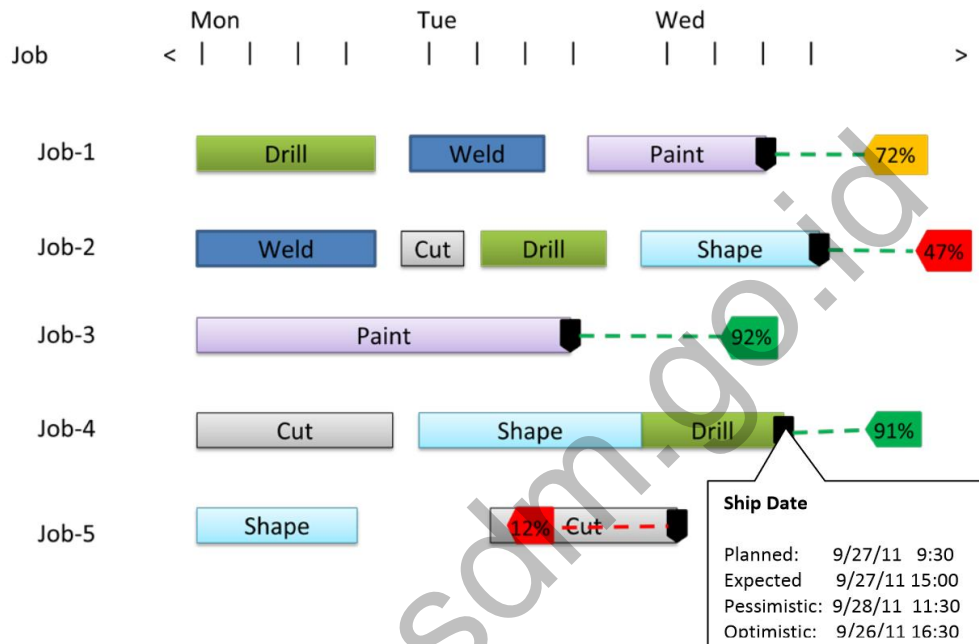
Industri pertambangan merupakan salah satu industri paling strategis, dan dengan pengembangan sistem informasi dan teknologi otomasi telah menjadi prioritas utama dalam proses transformasi otomasi tambang. Dibandingkan dengan industri lainnya, industri pertambangan memiliki banyak fitur khusus. Saat ini, sebagian besar perusahaan pertambangan telah menerapkan teknologi informasi untuk memantau proses produksinya. Namun, masih banyak masalah tersembunyi yang tidak dapat diidentifikasi dan diselesaikan sesuai yang diharapkannya. Berbagai Metode penjadwalan produksi telah banyak dikembangkan, penjadwalan yang efektif dapat bermanfaat untuk meningkatkan kinerja perusahaan.

Penjadwalan sendiri merupakan suatu kegiatan perancangan berupa pengalokasian sumber daya baik mesin maupun tenaga kerja untuk menjalankan sekumpulan tugas sesuai prosesnya dalam jangka waktu tertentu; masalah penjadwalan muncul karena adanya keterbatasan waktu, tenaga kerja, jumlah mesin, sifat dan syarat pekerjaan yang akan dilaksanakan, Secara umum ada dua permasalahan utama yang akan diselesaikan melalui penjadwalan, yaitu penentuan pengalokasian mesin yang akan digunakan untuk menyelesaikan suatu proses produksi dan pengurutan waktu pemakaian mesin tersebut[1].

Tujuan dari penjadwalan antara lain yaitu[2] : meningkatkan produktifitas mesin, yaitu dengan mengurangi waktu mesin menganggur; Mengurangi persediaan barang setengah jadi dengan jalan mengurangi jumlah rata-rata pekerjaan yang menunggu dalam antrian suatu mesin karena mesin tersebut sibuk. Mengurangi keterlambatan suatu pekerjaan; Setiap pekerjaan mempunyai batas waktu (*due date*) penyelesaian, jika pekerjaan tersebut diselesaikan melewati batas waktu yang ditentukan maka pekerjaan tersebut dinyatakan



terlambat; Dengan metoda penjadwalan maka keterlambatan ini dapat dikurangi, baik waktu maupun frekuensi. Gambar 1.1 menunjukkan contoh penjadwalan produksi dengan target yang menunjukkan kemungkinan terpenuhi, dan kode warna berdasarkan tingkat risikonya.



Gambar 1.1. contoh penjadwalan produksi (<https://www.simio.com/resources/white-papers/Benefits-of-Production-Scheduling/>)

Manfaat penjadwalan produksi meliputi antara lain yaitu [3] : Proses Pengurangan persediaan, penyamarataan, Mengurangi penjadwalan usaha, Peningkatan efisiensi produksi, Penyamarataan beban tenaga kerja, Kutipan tanggal pengiriman akurat, Informasi waktu nyata. Berbagai perkembangan penjadwalan telah banyak diadopsi oleh berbagai industri dengan cara mengembangkan metode-metode untuk optimalisasi. Dengan kemajuan teknologi yang sangat pesat penjadwalan sekarang ini telah banyak terkomputerisasi secara otomatis.

Beberapa pengaplikasian penjadwalan di berbagai bidang contohnya antara lain[4] : Jadwal untuk public (Jam operasi bisnis, tempat wisata, dan kantor pemerintah); Jadwal transportasi (seperti jadwal penerbangan , jadwal kereta , jadwal bus , dan berbagai jadwal angkutan umum); Dalam pemrograman siaran (perencanaan menit isi saluran siaran radio atau televisi); Penjadwalan manajemen proyek (Jadwal melibatkan penyelesaian proyek, contoh jadwal proses produksi); Dalam komputasi (Penjadwalan itu penting sebagai proses internal dalam ilmu komputer , Pengoperasian penjadwal jaringan atau penjadwal paket data) dan lain sebagainya.

Dalam bidang pertambangan penjadwalan produksi menjadi perhatian oleh para manajerial atau pimpinan di perusahaan karena bisa berdampak pada kelangsungan hidup



perusahaannya. Untuk mencapai kinerja yang tinggi berbagai teknik digunakan dalam membantu permasalahan penjadwalan di industri pertambangan, beberapa permasalahannya contohnya : permasalahan pada penundaan produksi batubara[5], masalah komputasi penjadwalan ukuran waktu produksi[7], masalah perencanaan yang dihadapkan pada ketidakpastian struktur geologi[8], keterlambatan dalam pemeliharaan jalan pengangkutan batubara[10], dan lain sebagainya.

Dari uraian permasalahan yang telah di bahas sebelumnya, penulis disini berinisiatif untuk membahas perihal perkembangan metode-metode untuk membantu permasalahan penjadwalan pada industri pertambangan. Tujuan dari penulisan artikel ini adalah untuk menampilkan ringkasan beberapa artikel pada industri pertambangan tentang solusi untuk mengatasi permasalahan pada penjadwalan. Manfaat yang diharapkan pada penulisan artikel ini adalah untuk mendapatkan suatu ide atau gagasan kedepannya dalam meningkatkan kinerja kegiatan operasional di industri pertambangan khususnya sistem penjadwalan.

II. BERBAGAI PENGGUNAAN METODE PENDEKATAN UNTUK PENJADWALAN DI INDUSTRI PERTAMBANGAN

Pada bagian dua ini akan diuraikan beberapa makalah penjadwalan di industri pertambangan, artikel-artikel atau makalah-makalah yang didapat yaitu dari berbagai sumber, sebagian makalah yang sudah masuk atau terindex oleh scopus dan yang dapat di akses (*open access*). Kata kunci yang digunakan dalam pencarian makalah ini adalah mine, Computer science, dan scheduling, dengan memfilter jenis dokumen conference dan journal, serta waktu yang dipilih antara tahun 2013 sampai dengan 2018. Hasil yang didapatkan pada pencarian ini adalah mendapatkan 7 (tujuh) makalah. Berikut ini uraian dari hasil pencarian dari makalah tersebut :

1. Hanoun S., Khan B., Johnstone M., Nahavandi S., Creighton D.(2013)[5], penelitiannya bertujuan untuk mengusulkan model perencanaan persediaan dan penjadwalan sumber daya untuk meminimalkan penundaan dalam produksi dan usia batubara di tempat penyimpanan (stockyard). penelitian ini untuk menangani permasalahan pada penundaan aliran produksi batubara dari pabrik karena tidak tersedianya stacker(alat yang digunakan untuk menata batubara yang datang melalui konveyor menuju stockpile) saat bergerak di antara stockpile, dan umur keseluruhan batubara di stockyard, dengan memformulasikan masalah Optimasi. Metode, atau pendekatan yang digunakan adalah dengan menggunakan algoritma heuristik yang



dikembangkan. Hasil dari penelitian ini adalah Model yang di usulkan menunjukkan kemampuan untuk mengotomatisasi proses perencanaan stockyard dan untuk menjadwalkan operasi permesinan. Model dapat mengatasi kendala tata letak lokasi *stacker* dan *reclaimer*, serta mampu memenuhi tujuan utama untuk pengolahan dan perencanaan stockyard dengan kemampuan untuk menghasilkan rencana produksi yang lebih baik. Tabel 2.1 menunjukkan hasil komputasi dari penelitian ini.

Tabel 2.1 *results of computational study showing the total delay (in hours) and the average age (in days) against the minimum obtained when randomizing the order of the campaigns[5]*

Stockyard Fill Level	Scenario	Total Delay (hours)	Average Age (days)	Minimum Total Delay (hours)	Minimum Average Age (days)
Low	1	0.62	1.36	0.45	1.43
Low	2	0	1.64	0	1.64
Low	3	0.39	0.71	0.02	0.86
Low	4	0.23	1.29	0.61	0.29
Low	5	0.59	1.64	0.59	1.64
Low	6	0.68	1.93	0.25	1.93
Low	7	0.25	1.36	0.18	2.36
Low	8	1.35	3.14	1.35	2.57
Low	9	6.3	2.29	1.1	2.29
Low	10	0.6	1.79	0.6	1.79
Medium	1	0.44	1.43	0.44	1.43
Medium	2	0.45	0.64	0.18	1.64
Medium	3	0.45	1.21	0.19	1.29
Medium	4	0	1.14	0.23	0.79
Medium	5	0.46	1.14	0.46	1.14
Medium	6	0.47	1.36	0.7	0.86
Medium	7	0.52	1.86	0.52	1.86
Medium	8	4.82	1.07	5	1
Medium	9	1.01	1.93	0.62	1.43
Medium	10	1.19	0.5	1.19	0.5
High	1	0.46	0.71	0.19	1.07
High	2	0.97	1.71	0.45	0.14
High	3	0.23	0.86	0	0.86
High	4	0.45	0.21	0.45	0.21
High	5	3.54	0.29	0.23	0.79
High	6	0.47	0.43	0	0.43
High	7	2.76	0.36	2.76	0.36
High	8	11.06	0.57	11.06	0.57
High	9	15.3	0.5	11.32	0.5
High	10	7.22	2.14	7.22	2.14

- Lamghari A., Dimitrakopoulos R., Ferland J.A.(2015)[6], Tujuan dari penelitiannya yaitu untuk mengusulkan metode penjadwalan produksi tambang terbuka (MPSP) *mine production scheduling problem* dalam menyelesaikan berbagai masalah optimasi kombinatorial dengan cara membandingkan metode sebelumnya. penelitian ini adalah untuk menangani masalah pada penjadwalan produksi perusahaan pertambangan yang mengeksploitasi tambang terbuka. Karakteristik tambahan dari penjadwalan produksi tambang terbuka, yang membuat masalah menjadi lebih sulit, adalah bahwa jumlah



blok besar dalam urutan puluhan hingga ratusan ribu, sehingga menghasilkan masalah optimisasi skala besar. Metode, teknik atau pendekatan yang digunakan adalah berbasis hybrid method dengan *linear programming* dan *variable neighborhood descent* serta CPLEX digunakan untuk mengevaluasi efisiensi metode solusi yang diusulkan. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah metode SH-VND(*sequential heuristic - variable neighborhood descent*) yang diusulkan menunjukkan lebih unggul dari solusi yang ada, yang memungkinkan waktu komputasi yang sangat singkat. Kualitas rata-rata solusi yang dihasilkan secara keseluruhan lebih baik. Hasil dari eksperimen komputasional ini menunjukkan efisiensi metode yang diusulkan dan keunggulannya atas metode lain. Tabel 2.2. menunjukkan hasil Gap perbandingan penelitian ini dengan metode yang lainnya.

Tabel 2.2 *Comparing SH-VND, LR-MTS, and LR-MTS-VND on instances from MineLib[6]*

Instance	%Ave Gap		
	SH-VND	LR-MTS	LR-MTS-VND
newman1	1.68	4.10	2.34
zuck-small	1.80	7.70	4.88
zuck-medium	8.08	13.40	9.04
p4hd	6.61	0.50	0.19
marvin	1.87	5.00	3.20
w23	9.96	2.10	1.06
zuck-large	8.07	1.10	0.56
sm2	5.85	0.20	0.04

3. Dónal O’Sullivan, Alexandra Newman(2015)[7], Penelitiannya bertujuan untuk mengembangkan model pemrograman integer penjadwalan produksi tambang bawah dengan meminimalkan biaya atau ukuran waktu produksi, dan untuk memaksimalkan hasil dengan cara membandingkan *heuristic procedure* dan *monolith procedure* serta menggunakan 9 set data . Penelitian ini untuk mengatasi permasalahan atau kendala pada *resource constraints* dan *precedence constraints*. metode, teknik atau pendekatan yang digunakan adalah dekomposisi heuristik berbasis optimasi. Hasil dari penelitian ini adalah model yang dikembangkan dapat mengatasi masalah yang sulit diatasi, menjadi solusi yang bisa didapatkan dengan komputasi dalam hitungan detik, atau paling banyak hitungan jam berdasarkan masalah kasus pada data dari tambang



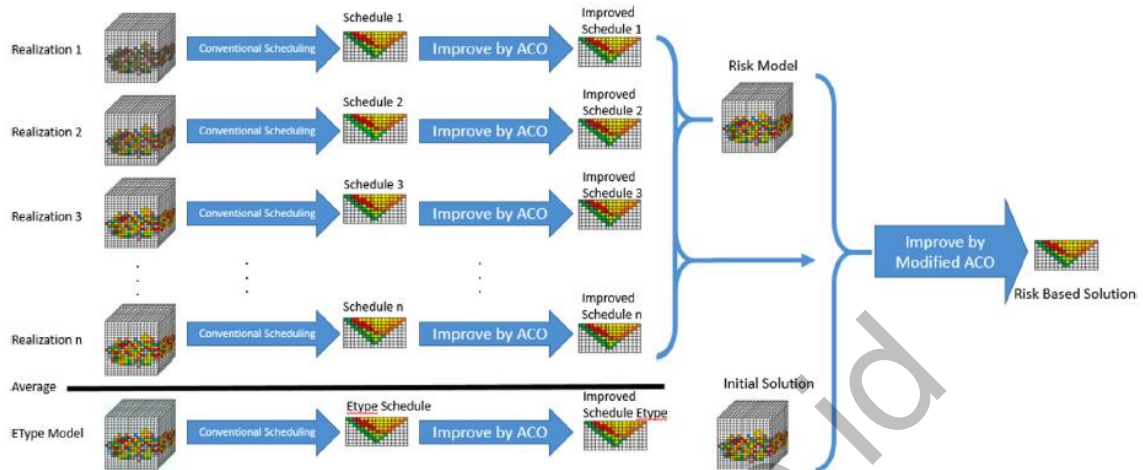
Lisheen di dekat Thurles, Irlandia. Tabel 2.3 menunjukkan perbandingan hasil komputasi dari penelitian ini menggunakan CPLEX.

Tabel 2.3 hasil komputasi dari penelitian ini[7]

Performance comparison of the heuristic procedure, (\mathcal{H}), with the monolith procedure, (\mathcal{Q}), on the basis of solution times and quality.							
Data set	Binaries	Constraints	Solution quality		Time (s)		Stages (\mathcal{H})
			Obj. ^a	Best bound ^b	(\mathcal{Q})	(\mathcal{H})	
<i>(52-weeks)</i>							
(A1)	12,356	129,643	1.000	1.010	793	27	3
(B1)	15,708	136,850	.994	1.006	15,458	217	3
(C1)	15,586	30,677	.997	1.010	17,989	183	3
<i>(104-weeks)</i>							
(A2)	52,653	866,195	∞	1.088	86,226	7551	3
(B2)	51,190	754,389	∞	1.037	86,400	2321	3
(C2)	47,477	242,115	1.054	1.001	86,378	2650	3
<i>(156-weeks)</i>							
(A3)	100,989	1,873,350	∞	† ^c	-	145,127	7
(B3)	92,967	1,690,596	∞	† ^c	-	50,112	4
(C3)	89,587	635,182	∞	† ^d	-	5951	4

^a (\mathcal{H}) obj. fn. val.
^b (\mathcal{Q}) obj. fn. val.
^b (\mathcal{Q}) best bound
^c † Computer run terminated due to memory limitations after 1320 (†^d 1440) seconds without either an integer feasible solution or a bound.

4. Gilani S.-O., Sattarvand J.(2016)[8]. Tujuan dari penelitiannya yaitu untuk mengusulkan metodologi solusi yang efisien dalam penjadwalan produksi tambang terbuka untuk memecahkan masalah perencanaan yang dihadapkan pada ketidakpastian struktur geologi dengan cara membandingkan antara dua strategi yaitu strategi dengan pendekatan berbasis probabilitas tunggal dan strategi berbasis probabilitas ganda. Teknik , metode atau pendekatan yang digunakan adalah menggunakan algoritma optimasi stokastik berdasarkan pendekatan *Ant Colony Optimization* (ACO). Hasil yang didapat pada penelitian ini yaitu Hasil menunjukkan kemampuan pendekatan stokastik untuk membuat jadwal yang tunggal dapat mengendalikan risiko penyimpangan dari target produksi serta mengurangi risiko proyek secara keseluruhan dan juga meningkatkan nilai proyek. Perbandingan antara dua strategi dan pendekatan tradisional menggambarkan bahwa strategi berbasis probabilitas ganda menghasilkan hasil yang lebih baik, namun, pendekatan berbasis probabilitas tunggal yang telah ditetapkan lebih praktis dalam situasi dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi. Gambar 2.1 menunjukkan prosedur umum dari pendekatan Ant Colony Optimization (ACO) berdasarkan perencanaan produksi di tambang terbuka.



Gambar 2.1 Flow chart of the grade uncertainty integration in ACO pit optimizer[8].

5. Kumiawan D., Komarudin, Hidayatno A(2017)[9], tujuan dari penelitiannya yaitu untuk merancang model optimasi rute motor grader dan jadwal pemeliharaan jalan tambang batubara. Permasalahan yang ada pada penelitian ini adalah keterlambatan dalam pemeliharaan jalan pengangkutan batubara dan belum adanya pendekatan yang dapat digunakan secara khusus dalam penjadwalan pemeliharaan jalan. Teknik, metode atau pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan algoritma Bandit. Hasil dari penelitian ini adalah Model optimasi yang dirancang dengan menggunakan algoritma Bandit dapat menghasilkan rute dan jadwal motor grader dengan meminimalkan keterlambatan dalam pemeliharaan jalan pengangkutan batubara. Keterlambatan pemeliharaan rute motor grader dan jadwal yang dihasilkan dengan algoritma bandit sekitar 50% -70% lebih baik daripada rute dan jadwal yang dihasilkan secara acak. Tabel 2.4 menunjukkan contoh solusi yang diperoleh dari model optimasi yang dijalankan dengan 2 motor grader, 10.000 iterasi dan waktu komputasi adalah 25 detik pada penelitian ini.

Tabel 2.4 *sample of optimization model solution*[9]

Grader No 1						
From	To	Travel Time	In-Time	Out-Time	grading	Penalty
0	12	0:29:13	8:00:00	8:29:13	1	4,70
12	14	1:03:40	8:29:13	9:32:53	1	0,22
14	6	0:07:56	9:32:53	9:40:49	0	-
6	3	0:39:11	9:40:49	10:20:00	1	5,06
3	10	0:20:13	10:20:00	10:40:13	1	4,46
10	8	0:03:28	10:40:13	10:43:41	0	-
8	4	0:24:41	10:43:41	11:08:22	1	0,12
4	11	0:20:22	11:08:22	11:28:44	1	13,73
11	6	0:01:28	11:28:44	11:30:12	0	-
6	5	0:18:24	11:30:12	11:48:36	1	15,31
5	13	0:02:40	11:48:36	11:51:16	0	-
13	15	0:25:33	11:51:16	12:16:49	0	-
15	5	0:04:15	12:16:49	12:21:04	0	-
5	14	1:05:10	12:21:04	13:26:14	1	13,15
14	1	0:23:24	13:26:14	13:49:38	1	2,36
1	4	0:23:32	13:49:38	14:13:10	1	12,70
4	13	0:34:28	14:13:10	14:47:38	1	16,22
13	4	0:07:38	14:47:38	14:55:16	0	-
4	10	0:18:33	14:55:16	15:13:49	1	13,10
10	12	0:30:52	15:13:49	15:44:41	1	3,84
12	2	0:06:03	15:44:41	15:50:44	0	-

6. Khan A., Niemann-Delius C. (2018)[10], penelitiannya bertujuan untuk mengeksplorasi kemampuan dan efisiensi dari berbagai varian algoritma Differential Evolution ketika diterapkan pada masalah penjadwalan produksi jangka panjang dari tambang terbuka. Penelitian ini untuk memecahkan masalah penjadwalan produksi tambang terbuka dengan biaya komputasi rendah dengan atau tanpa kondisi yang berubah-ubah. Teknik, metode atau pendekatan yang digunakan adalah menggunakan algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*) untuk mencari ruang solusi dan algoritma *Differential Evolution* (DE) yaitu teknik metaheuristik berbasis populasi, dengan simulasi menggunakan CPLEX. Hasil dari penelitian ini adalah dari Tiga studi kasus yang berbeda mengungkapkan kemampuan dan efisiensi algoritma DE dengan menghasilkan solusi yang cukup bagus dari masalah yang ada dengan biaya komputasi yang moderat. Hasil yang disajikan dalam makalah ini mengungkapkan bahwa pendekatan berbasis algoritma DE yang diusulkan dapat menghasilkan solusi yang cukup baik dalam jumlah waktu yang wajar ketika ukuran populasi, skema mutasi dan kombinasi optimal dari faktor skala dan konstanta crossover dipilih dengan tepat.



Tabel 2.5 menggambarkan Informasi umum tentang kumpulan data dan hasil simulasi dan perkiraan pada penelitian ini.

Tabel 2.5 *General information about the simulated and estimated data sets and optimization results (obtained through CPLEX)[10].*

PROBLEM NO.	NO. OF BLOCKS	BLOCK WEIGHT (TONS)	BLOCK SIZE	NO. OF PERIODS	NO OF SIMULATIONS	OPTIMALITY GAP (%)	CPU TIME (HOURS)
Estimated Data Sets							
1	10120	5715	10x10x10	5	-----	12.61	215.33
2	7836	5715	10x10x10	4	-----	4.80	105.25
Simulated Data Set							
3	7107	6500	25x25x12.5	5	15	6	61.63

III. KESIMPULAN

Kemampuan berbagai Algoritma dan metode yang di uraikan menjadikan suatu kemajuan dalam mengembangkan berbagai solusi di penjadwalan produksi atau penjadwalan kegiatan lainnya khususnya di lingkungan industri pertambangan. Pada umumnya penelitian-penelitian yang telah di uraikan adalah untuk optimalisasi sistem penjadwalan [5][6][7][8][9][10], adapun menggunakan perangkat lunak CPLEX yang banyak membantu dari analisis yang diperlukan pada permasalahan penjadwalan yang ada [6][7][10]. Algoritma-algoritma yang diperkenalkan sangat membantu dalam mengatasi permasalahan yang ada di industri pertambangan khususnya pada sistem penjadwalan yang mana diperlukan oleh perusahaan dalam meningkatkan kinerjanya untuk atau sesuai kebutuhan yang di inginkan, hal ini agar dapat membantu operasional perusahaan tidak tersendat atau mengalami kerugian dalam nilai ekonominya.

Berbagai pendekatan yang telah diuraikan menjadikan suatu inisiatif dalam perkembangan pemecahan masalah di insdutri pertamabangan yang mana ide atau gagasan yang baru dapat dibuat sedemikian rupa. Hasil yang diharapkan dapat membantu kinerja perusahaan untuk meningkatkan nilai kompetitifnya terhadap kecepatan perkembangan teknologi. Kedepannya di harapkan pengembangan-pengembangan pendekatan yang diperlukan agar lebih optimal untuk industri pertambangan khususnya pada sistem penjadwalan yang memang membutuhkan perhatian lebih.



REFERENCES

- [1] Jovan Maxy Tualaka, "penjadwalan flow shop dengan algoritma ant-colony optimization untuk meminimasi makespan di departemen spinning iii pt grandtex textil indonesia", Undergraduate Theses from JBPTUNIKOMPP, 2006.
- [2] Baker, Kenneth R. *Introduction to sequencing and scheduling*. John Wiley & Sons, 1974.
- [3] Scheduling (production processes), [https://en.wikipedia.org/wiki/Scheduling_\(production_processes\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Scheduling_(production_processes)), di akses tanggal 20 maret 2018
- [4] Schedule, <https://en.wikipedia.org/wiki/Schedule>, di akses tanggal 20 maret 2018
- [5] S. Hanoun, B. Khan, M. Johnstone, S. Nahavandi and D. Creighton, "An effective heuristic for stockyard planning and machinery scheduling at a coal handling facility," *2013 11th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Bochum, 2013, pp. 206-211.
- [6] Lamghari, Amina, Roussos Dimitrakopoulos, and Jacques A. Ferland. "A hybrid method based on linear programming and variable neighborhood descent for scheduling production in open-pit mines." *Journal of Global Optimization* 63, no. 3 (2015): 555-582.
- [7] Dónal O'Sullivan, Alexandra Newman, Optimization-based heuristics for underground mine scheduling, *European Journal of Operational Research*, Volume 241, Issue 1, 16 February 2015, Pages 248-259, ISSN 0377-2217.
- [8] Gilani, Seyed-Omid, and Javad Sattarvand. "Integrating geological uncertainty in long-term open pit mine production planning by ant colony optimization." *Computers & Geosciences* 87 (2016): 31-40.
- [9] D. Kumiawan, Komarudin and A. Hidayatno, "Motor grader route and schedule optimization in coal mine haul road maintenance," *2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, Singapore, 2017, pp. 246-249.
- [10] Khan, Asif, and Christian Niemann-Delius. "A Differential Evolution based approach for the production scheduling of open pit mines with or without the condition of grade uncertainty." *Applied Soft Computing* (2018).