

Jadwal *Preventive Maintenance* Mesin Menggunakan Algoritma Genetik *Steady State* Dengan Fungsi Kecocokan Berbasis *Required Reliability*

Budhi Handoko*, Yeny Krista Franty

Departemen Statistika, FMIPA, Universitas Padjadjaran, Bandung
Jalan Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor Sumedang 45363

Article Info

Article history:

Received
16 November 2016

Accepted
1 March 2017

Keywords:

Preventive maintenance
genetic algorithm
multiobjective

Abstract

Preventive maintenance activities are very important for manufacturing industries in order to maintain lifetime of their components/machines and to improve their performances. This research determines preventive maintenance schedules which minimize total cost and maximize reliability of components/machines. Some methods are already developed to obtain the schedule, exact method for example, has been used for many years. However this method having a drawback in the optimization process, in particular is model complexity, time consuming, and may lead to produce unfeasible solutions. Therefore, to overcome the problems, this research use another possible method namely Steady State Genetic Algorithm (SSGA). This research uses fitness function that is depend on Required Reliability which is stated by the company. In this research, SSGA is used to solve the problem of optimization in determining preventive maintenance schedule. This method was implemented to determine preventive maintenance schedule of Freeze Drying belongs to Pindad Cooperation. In this case, SSGA involed population size of 2,000 because it produces small variance solution and genetic cycle of 500 which produce convergent values based both on cost and reliability. According to the schedule, if the manufacturer would like to obtain machine reliability of 60%, then there are not any maintenance activities required during the period of 15 months. In addition, if the reliability of 80% required, then the company should perform replacement action on the first month and the tenth month. The company should also perform maintenance activity on the fourth month with cost needed to do the actions is Rp 784,450. This schedule produces reliability for the machine of 68.71%.

1. PENDAHULUAN

Aktivitas produksi pada perusahaan manufaktur berjalan terus menerus setiap saat disebabkan tuntutan dari jumlah produksi yang menjadi target perusahaan yang sangat terkait dengan kebutuhan pasar. Mesin yang memproduksi barang pun menjadi tumpuan utama dalam proses produksi tersebut dan bekerja 24 jam setiap hari. Masa hidup mesin pun semakin lama akan semakin mengalami penurunan sehingga apabila tidak dilakukan kegiatan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) bisa menyebabkan mesin mengalami kerusakan dan mati atau berhenti dalam

berproduksi. Selama mesin mati (*downtime*) perusahaan akan mengalami kerugian akibat tidak memproduksi barang.

Kegiatan pemeliharaan preventif menjadi sangat penting dilakukan oleh perusahaan dalam rangka tetap mempertahankan kinerja dan masa hidup dari mesin. Kegiatan pemeliharaan preventif ini pun biasanya dilakukan perusahaan sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik kerusakan dari mesin. Namun demikian, pemeliharaan preventif ataupun penggantian komponen menjadi suatu hal yang dipertimbangkan matang-matang oleh perusahaan terkait dengan pembiayaan yang diperlukan. Apabila pelaksanaannya tidak dijadwalkan dengan optimal, maka biaya total yang dikeluarkan akan membengkak dan mempengaruhi anggaran perusahaan tersebut.

*Corresponding author. Handoko, B.
Email address: budhi.handoko@unpad.ac.id (Handoko, B.)
yeny.krista@unpad.ac.id (Franty, Y., K.)

Berbagai pendekatan statistik telah diusulkan untuk meminimumkan biaya total dalam melaksanakan penjadwalan optimum mesin. Konsep optimasi yang lazim dilakukan adalah berdasarkan fungsi tujuan yaitu meminimumkan biaya total tanpa ada fungsi kendala yang lain. Pendekatan optimasi multiobjektif telah diusulkan oleh Moghaddam (2000) yang mengusulkan dua model, yaitu model optimasi yang memiliki fungsi tujuan meminimumkan biaya total dengan nilai reliabilitas yang telah ditetapkan. Model yang lain adalah optimasi yang memiliki fungsi tujuan memaksimumkan reliabilitas mesin dengan biaya/anggaran yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

Perkembangan mengenai penelitian metode optimasi dalam reliabilitas diantaranya metode analitik, algoritma eksak, dan algoritma metaheuristik. Beberapa penelitian mengenai metode analitik yaitu Canfield (1996) meneliti tentang model optimasi pemeliharaan preventif yang memfokuskan pada beberapa fungsi kegagalan dalam reliabilitas sistem. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa tindakan pemeliharaan preventif tidak mengubah atau mempengaruhi perilaku laju kerusakan. Hsu (1991) membentuk model optimasi untuk menentukan jadwal pemeliharaan preventif untuk sistem manufaktur *multi-station*. Penelitian tersebut menggunakan pendekatan simulasi untuk menyelesaikan optimasi model. Hasilnya penelitian tersebut menunjukkan bahwa fitur operasi dari stasiun produksi saling terkait satu sama lain. Jayabalan dan Chaudhuri (1992) memaparkan dua jenis model penjadwalan pemeliharaan preventif yang meminimumkan biaya total. Model dibentuk berdasarkan konsep *Mean Time To Failure (MTTF)* dari mesin. Model pertama berdasarkan fungsi laju kerusakan yang berdistribusi Weibull, sedangkan model yang kedua mengasumsikan bahwa pemeliharaan preventif dapat mengurangi umur efektif sistem. Fard dan Nukala (2004) meneliti dan melakukan review terhadap aplikasi dari beberapa proses stokastik diantaranya homogenous Poisson process (HPP) dan non-homogenous Poisson process (NHPP) dalam permasalahan penjadwalan pemeliharaan preventif. Keduanya menyarankan agar menggunakan NHPP untuk model laju kerusakan dari sistem perbaikan. Shirmohammadi dan Love (2007) membangun model optimasi nonlinier berbasis usia sistem untuk menentukan jadwal pemeliharaan preventif optimum untuk sistem dengan komponen tunggal.

Penelitian mengenai algoritma eksak dilakukan oleh beberapa peneliti berikut ini. Westman, dkk (2001) memformulasikan sebuah model matematika untuk mendapatkan jadwal produksi optimal menggunakan fungsi Gaussian Poisson dengan Proses Poisson dependen. Dalam penelitian ini, biaya total produksi dan jadwal perawatan sebagai

fungsi objektif dan menggunakan pendekatan pemrograman dinamis. Han, dkk (2004) mengenai model optimasi nonlinier untuk meminimumkan biaya total dari tindakan pemeliharaan dan penggantian dengan kendala reliabilitas mesin. Dalam studi ini, fungsi laju kerusakan dari mesin yang berdistribusi Weibull dapat digunakan sebagai *decision support system* untuk penjadwalan pekerjaan. Jayakumar dan Asagarpoor (2004) menyajikan model pemrograman linier untuk melakukan optimasi kebijakan pemeliharaan komponen dengan laju kerusakan yang bersifat acak. Penelitian ini memberikan hasil waktu rata-rata optimal dari tindakan pemeliharaan preventif yang memaksimumkan ketersediaan komponen. Tam, dkk (2006) membangun tiga buah model optimasi nonlinier, yaitu model pertama meminimumkan biaya total berdasarkan reliabilitas yang diinginkan, model kedua memaksimumkan reliabilitas dengan anggaran yang diberikan, dan model ketiga meminimumkan ekspektasi biaya total, biaya kerusakan, dan biaya pemeliharaan.

Algoritma Genetik sebagai pendekatan optimasi utama telah banyak disajikan dalam jurnal-jurnal optimasi. Levitin dan Lisnianski (2000) meneliti tentang sistem *multi-state* dengan komponen yang memiliki tingkat performansi yang berbeda. Model tersebut meminimumkan biaya dengan reliabilitas yang ditetapkan. Untuk melakukan analisis tersebut, mereka menerapkan teknik fungsi pembangkit universal dan menggunakan algoritma genetik untuk menentukan strategi pemeliharaan terbaik. Wang dan Handschin (2000) membangun algoritma genetik baru dengan memodifikasi operator dasar, operator *crossover* dan operator mutasi pada algoritma genetik standar. Dengan menggunakan algoritma baru ini, konvergensi akan tercapai lebih cepat dan mencegah solusi hasil menjadi tidak layak atau tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Duarte, dkk (2006) menyajikan algoritma heuristik untuk penjadwalan pemeliharaan dari sebuah sistem yang memiliki sekumpulan komponen. Dalam penelitian ini, semua komponen diasumsikan memiliki laju kerusakan yang meningkat dengan nilai faktor peningkatan yang konstan. Limbourg dan Kochs (2006) mengusulkan beberapa teknik untuk merepresentasikan variabel-variabel dalam model penjadwalan pemeliharaan preventif yang menggunakan algoritma optimasi heuristik dan metaheuristik. Pendekatan ini secara empirik lebih efektif dibandingkan pendekatan yang lain karena dapat meningkatkan akurasi dan mengurangi waktu komputasi.

Metode optimasi yang digunakan pada pendekatan yang diusulkan oleh Moghaddam (2000) adalah menggunakan Algoritma Eksak atau yang dikenal dengan Mixed Integer Non-Linear Programming (MINLP). Algoritma Eksak sendiri memiliki tingkat kompleksitas yang sangat tinggi

yang menyebabkan proses pengerjaan secara komputasi menjadi lebih lama, dan bisa jadi tidak mendapatkan solusi yang layak dan tepat.

Penelitian ini akan melakukan kajian metode optimasi alternatif yang bisa mengatasi kelemahan yang muncul pada metode eksak. Metode tersebut adalah metaheuristik yang memiliki fungsi yang sama yaitu melakukan optimasi fungsi multiobjektif, yaitu meminimumkan biaya total dan memaksimumkan reliabilitas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini memiliki tujuan yaitu melakukan optimasi multiobjektif yang dapat meminimumkan biaya total dan dapat memaksimumkan fungsi reliabilitas dalam rangka melakukan pemeliharaan preventif mesin menggunakan algoritma metaheuristik.

Penelitian ini memiliki peranan dalam pengembangan keilmuan yaitu memberikan suatu metode yang lebih mampu memberikan jaminan solusi optimasi pada model dengan fungsi tujuan lebih dari satu. Selain itu, secara aplikasi metode ini mampu memberikan suatu rekomendasi yang lebih lengkap kepada perusahaan manufaktur agar dapat melakukan kegiatan pemeliharaan preventif yang lebih optimal.

2. METODOLOGI

2.1 Parameter Ekonomi Teknik

Apabila diasumsikan bahwa inflasi akan meningkatkan biaya kerusakan seiring berjalannya waktu pada tingkat *inffailure* persen per periode. Maka dapat didefinisikan biaya kerusakan komponen ke-*i* pada periode ke-*j* adalah sebagai berikut:

$$F_{i,j} = F_i \cdot \lambda_i \left((X'_{i,j})^{\beta_i} - (X'_{i,j-1})^{\beta_i} \right) (1 + \text{inffailure})^j \quad (1)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, T$.

Selanjutnya dimisalkan tingkat inflasi untuk pemeliharaan (*infn*), tingkat inflasi untuk penggantian (*infr*), dan tingkat inflasi untuk biaya tetap (*infz*). Sehingga diperoleh biaya dari tindakan pemeliharaan komponen ke-*i* pada periode ke-*j*, sebagai berikut:

$$M_{i,j} = M (1 + \text{infn})^j \quad (2)$$

$$R_{i,j} = R_i (1 + \text{infr})^j \quad (3)$$

$$Z_j = Z (1 + \text{infz})^j \left(1 - \prod_{i=1}^N (1 - (m_{i,j} + r_{i,j})) \right) \quad (4)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, T$; $m_{i,j}$ dan $r_{i,j}$ adalah variable biner dari tindakan pemeliharaan dan penggantian komponen ke-*i* pada periode ke-*j*. Untuk penambahan komponen model adalah

tingkat suku bunga pada saat ini disimbolkan sebagai *int*.

2.2 Model Optimasi Multiobjektif

Dengan mempertimbangkan parameter ekonomi teknik pada bagian 1.1, dapat dibentuk fungsi objektif biaya total yang akan diminimumkan. Model optimasi multiobjektif merupakan optimasi yang memiliki dua fungsi tujuan yang harus dilakukan optimasi secara bersamaan yaitu meminimumkan fungsi total biaya dan memaksimumkan fungsi reliabilitas. Bentuk dari kedua fungsi objektif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Min Total Cost} &= \sum_{j=1}^T \left[\sum_{i=1}^N \left[F_i \cdot \lambda_i \left((X'_{i,j})^{\beta_i} - (X'_{i,j-1})^{\beta_i} \right) (1 + \text{inffailure})^j \right] \right. \\ &\quad \left. + M_i (1 + \text{infn})^j \cdot m_{i,j} + R_i (1 + \text{infr})^j \cdot r_{i,j} \right] \\ &\quad + Z (1 + \text{infz})^j \left(1 - \prod_{i=1}^N (1 - (m_{i,j} + r_{i,j})) \right) \quad (5) \\ \text{Max Reliability} &= \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^T \exp \left[- \left(\lambda_i (X'_{i,j})^{\beta_i} - (X'_{i,j-1})^{\beta_i} \right) \right] \quad (6) \end{aligned}$$

dengan:

$$X_{i,1} = 0; \quad i = 1, \dots, N$$

$$X_{i,j} = (1 - m_{i,j-1})(1 - r_{i,j-1})X'_{i,j-1} + m_{i,j-1}(\alpha_i \cdot X'_{i,j-1})$$

$$; \quad i = 1, \dots, N \quad j = 2, \dots, T$$

$$X'_{i,j} = X_{i,j} + \frac{T}{j}; \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, T$$

$$m_{i,j} + r_{i,j} \leq 1; \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, T$$

$$m_{i,j}, r_{i,j} = 0 \text{ atau } 1; \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, T$$

$$X_{i,j}, X'_{i,j} \geq 0; \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, T$$

2.3 Algoritma Genetik

Algoritma Genetik (AG) diusulkan oleh John Holland (1975). Algoritma ini merupakan teknik pencarian menggunakan komputasi untuk mendapatkan solusi optimasi baik eksak maupun aproksimasi. Algoritma ini dikategorikan sebagai pencarian global metaheuristik.

Kelebihan AG adalah dapat secara simultan menemukan wilayah pada ruang solusi yang memungkinkan dapat menemukan solusi untuk masalah yang sulit dengan ruang solusi yang non-konveks, diskontinu, dan multimodal.

Langkah-langkah:

1. Membentuk encoding dari solusi

Encoding dari solusi pada awal iterasi adalah dengan membentuk matriks berdimensi $N \times T$ yang berisi nilai nol. Nilai nol menunjukkan bahwa pada saat awal iterasi tidak ada tindakan *preventive maintenance*.

2. Pemeliharaan dan penggantian Preventif berperan sebagai “kromosom”.
3. Kromosom berupa matriks berukuran $N \times T$, dengan N = jumlah komponen, T = rentang periode waktu perawatan. Misalkan terdapat 2 komponen dalam mesin, dan ada 6 bulan periode penjadwalan, maka kromosom yang berupa matriks 2×6 . Sebagai contoh bentuk kromosomnya adalah seperti tabel berikut ini.

Tabel 1.

Contoh Kromosom 2 komponen dan 6 periode waktu perawatan

komponen	Periode Waktu (bulan)					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	0	1	2
2	0	0	2	0	1	1

4. Nilai pada kromosom pada Tabel 1 berisi nilai 0 (tanpa tindakan), 1 (tindakan perawatan), atau 2 (tindakan perbaikan) bergantung kepada tiga macam tindakan tersebut.
5. Menentukan fungsi kecocokan (Fitness function)

$$Fitness_3 = \left(\frac{Total\ Cost}{Cost_{max}} \right) + |Reliability - Required\ Reliability| \quad (7)$$
6. Melakukan prosedur mutasi dan *crossover*
7. Mendapatkan solusi optimasi

2.4 Prosedur Mutasi

Prosedur mutasi diterapkan pada solusi dari “keturunan”. Dengan langkah sebagai berikut:

1. Bangkitkan bilangan acak antara 1 s.d. $N \times T$.
2. Kemudian tandai “gen” yang berubah menjadi 1 atau 2 jika sama dengan 0, atau berubah ke 0 jika sama dengan 1 atau 2.
3. Lakukan langkah yang sama pada periode yang sama untuk komponen yang lain.

2.5 Prosedur Crossover

Prosedur *crossover* menciptakan sebuah solusi baru yaitu keturunannya merupakan pasangan solusi yang terpilih dari “orangtua”-nya. Terdapat beberapa jenis *crossover*, yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Two-Point InverseCrossover*, dengan langkah sebagai berikut:

1. Bangkitkan dua buah angka acak antara 1 s.d. $N \times T$.
2. Buat keturunan dari “orang tua” yang terpilih yang semua elemennya berada diluar posisi angka acak tersebut yang

disalin dari “orang tua” pertama namun dalam urutan yang terbalik dan elemen dalam disalin dari “orang tua” kedua. Jika “orang tua” yang dipilih identik, maka *crossover* akan menghasilkan keturunan yang berbeda yang tidak sama dengan “orang tua”-nya.

2.6 Algoritma Genetik Steady State

Generalisasi dari AG adalah Algoritma Genetik *Steady State* (AGSS) yang mengganti keseluruhan populasi pada setiap generasi. AGSS menggunakan dua populasi pada tahap “reproduksi”. Menurut Goldberg (1989) dan Lisnianski dan Levitin (2000) bentuk algoritma AGSS adalah sebagai berikut:

1. Hasilkan nilai awal P
2. Tentukan nilai kecocokan keanggotaan P
3. Lakukan iterasi dengan algoritma GA jika kondisi belum terpenuhi dan kondisi penghentian siklus genetik belum terpenuhi:
 - i. Buat “keturunannya” dari “orang tua” terpilih
 - ii. Mutasikan keturunan yang terbentuk dengan peluang p_{mutasi}
 - iii. Tentukan nilai kecocokan dari solusi baru yang dihasilkan
 - iv. Gantikan solusi baru yang dihasilkan dengan solusi terburuk dalam P jika nilai kecocokannya lebih baik daripada nilai kecocokan dari solusi terburuk.
 - v. Buang solusi yang identik dalam P
4. Perbarui nilai P dengan solusi baru yang dihasilkan. Solusi baru menggunakan kromosom yang telah melalui proses mutasi dan *crossover* dan harus memiliki nilai kecocokan yang lebih tinggi dari iterasi sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

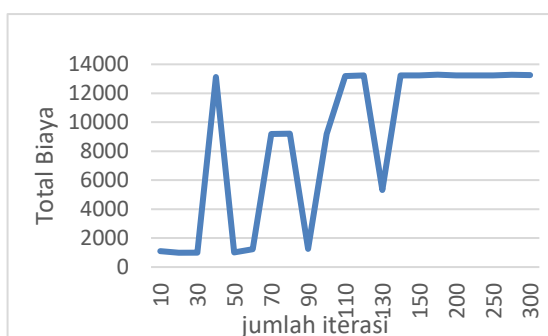
Algoritma Genetik *Steady State* akan diimplementasikan dalam suatu pemeliharaan komponen mesin *Freeze Drying* sub Mesin A milik PT Pindad Bandung. Mesin ini digunakan untuk membuat vaksin. Data yang akan dipergunakan adalah data kerusakan komponen mesin *Freeze Drying* dari Juni 2010 sampai Januari 2015.

Setelah diuji distribusinya, waktu kerusakan berdistribusi Weibull dengan parameter $\hat{\beta} = 1,8283$ dan $\hat{\theta} = 3202,143$. Sedangkan waktu perbaikan berdistribusi eksponensial dengan $\hat{\lambda} = 0,0037$. Nilai biaya yang diperoleh dari perusahaan pengguna mesin tersebut yaitu biaya kerusakan Rp. 11.390.000, biaya perawatan Rp. 3.171.000, biaya

penggantian komponen Rp. 4.393.000, dan biaya tetap sebesar Rp. 4.050.000. Parameter ekonomi teknik untuk inflasi dari tahun 2010 -2015 rata-rata 6,31% dan tingkat inflasi rata-rata 6,72%.

Algoritma Genetik Steady State menggunakan nilai parameter yaitu siklus genetik 500, ukuran populasi 2000, dan peluang mutasi 0,5. Nilai gen dikodekan 0 (mencerminkan tanpa tindakan), 1 (tindakan perawatan), dan 2 (tindakan penggantian komponen). Analisis menggunakan fungsi kecocokan (*fitness function* 3) yaitu menggunakan *Required Reliability* (RR) yang diinginkan.

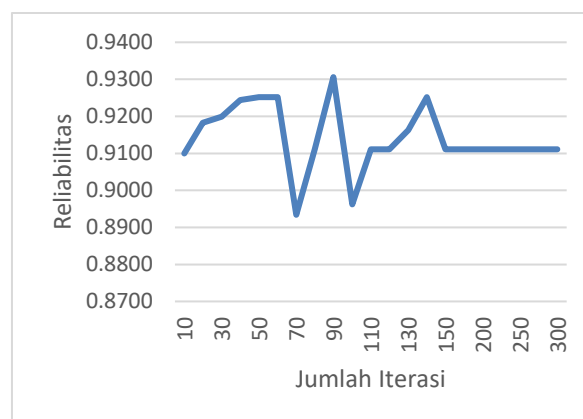
Hasil perhitungan secara komputasi menggunakan *software*, diperoleh nilai konvergensi total biaya tercapai pada jumlah generasi 150 dengan nilai total biaya yang diperlukan berkisar pada nilai Rp. 13.238.000 seperti tampak pada Gambar 1. Secara simultan dengan reliabilitas yang dihasilkan juga akan konvergen pada iterasi ke 150 dengan nilai reliabilitas berkisar pada nilai 91,11% seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai-nilai total biaya dan reliabilitas pada kedua gambar tersebut dihasilkan dari proses iterasi yang bersamaan. Jadi pada iterasi pertama akan muncul nilai total biaya ke-1 dan nilai reliabilitas ke-1, kemudian iterasi kedua akan menghasilkan output total biaya ke-2 dan reliabilitas ke-2 dan seterusnya. Hal ini berarti jumlah iterasi dalam AGSS bisa digunakan mulai pada jumlah iterasi 150 untuk menghitung nilai biaya dan reliabilitas yang dihasilkan berdasarkan RR yang diinginkan.



Gambar 1. Konvergensi pada aspek total biaya berdasarkan Jumlah Iterasi

Tabel 1 merupakan hasil penjadwalan yang dihasilkan dari output AGSS yang merupakan solusi optimal penjadwalan yang bisa dilakukan untuk melakukan pemeliharaan preventif untuk komponen

freeze drying. Untuk RR = 60% belum ada tindakan preventive maintenance yang perlu dilakukan. Untuk RR = 65% dan 70% terdapat dua kali aktivitas perawatan mesin dengan biaya masing-masing Rp. 504.350 dan Rp. 977.030 dengan nilai reliabilitas yang dihasilkan sekitar 61% atau 62%. Pada RR= 75% mulai terdapat tindakan penggantian komponen pada bulan ke-10. Tindakan penggantian ini pun akan semakin bertambah apabila nilai RR ditingkatkan semakin tinggi.



Gambar 2. Konvergensi reliabilitas berdasarkan jumlah iterasi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan dan diberikan beberapa saran untuk pelaksanaan *preventive maintenance* adalah sebagai berikut:

Permasalahan optimasi penjadwalan diselesaikan menggunakan AGSS untuk komponen mesin *freeze drying* digunakan ukuran populasi 2000 karena menghasilkan nilai variasi solusi yang cukup kecil dan siklus genetik 500 dengan banyak iterasi 100 dan peluang mutasi 0,5 karena menghasilkan nilai konvergensi pada biaya dan nilai reliabilitas. Algoritma ini bekerja relatif stabil pada kondisi tersebut.

Penelitian lanjutan yang bisa dilakukan adalah melakukan analisis sensitivitas terhadap hasil yang telah diperoleh untuk mengetahui sejauh mana penjadwalan yang dibentuk dapat tetap bertahan pada batasan-batasan tertentu.

Tabel 2.Solusi optimal penjadwalan pemeliharaan preventif menggunakan fungsi *fitnes* berbasis *required reliability*

RR	Biaya (dalam ribuan rupiah)	Reliabilitas	Jadwal Preventif Maintenance (Bulan ke-)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
60%	668,33	0,6180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65%	504,35	0,6163	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70%	977,03	0,6283	M	-	-	-	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75%	813,17	0,6842	-	M	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-
80%	784,45	0,6871	R	-	-	M	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-
85%	871,06	0,8802	M	-	M	M	-	R	-	-	-	R	-	R	-	-	-
90%	630,68	0,8895	R	R	R	R	M	R	R	R	-	-	R	-	-	-	-
95%	2073,90	0,9305	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	-	-

5. DAFTAR PUSTAKA

- Moghaddam, K. (2000). *Preventive maintenance and replacement scheduling: models and algorithms. Electronic Theses and Dissertations*, University of Louisville
- Canfield, R.V., (1996). Cost optimization of periodic preventive maintenance, *IEEE Transactions on Reliability*, 35(1): 78-81.
- Hsu, L.F., (1991). Optimal preventive maintenance policies in a serial production system, *International Journal of Production Research*, 29(12): 2543-2555.
- Jayabalan, V., &Chaudhuri, D., (1992). Cost optimization of maintenance scheduling for a system with assured reliability, *IEEE Transactions on Reliability*, 41(1): 21-25.
- Fard, N.S., &Nukala, S. (2004). Preventive maintenance scheduling for repairable systems, *IIE Annual Conference and Exhibition 2004*, 15-19 May 2004, Houston, TX, USA, pp.145-150.
- Shirmohammadi, A.H., Zhang, Z.G., &Love, E., A. (2007). Computational model for determining the optimal preventive maintenance policy with random breakdowns and imperfect repairs, *IEEE Transactions on Reliability*, 56(2): 332-339.
- Westman, J.J., Hanson, F.B., &Boukas, E.K. (2001). Optimal production scheduling for manufacturing systems with preventive maintenance in an uncertain environment, *Proceedings of American Control Conference (Vol.2)*, 25-27 June 2001, Arlington, VA, USA, pp.1375-1380.
- Han, B.J., Fan, X.M., &Ma, D.Z., (2004). Optimization of preventive maintenance policy of manufacturing equipment based on simulation, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 10(7): 853-857.
- Jayakumar, A, &Asagarpour, S., (2004) Maintenance optimization of equipment by linear programming, *International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, 12-16 September 2004, pp. 145-149.
- Tam, A.S.B., Chan, W.M., &Price, J.W.H. (2006). Optimal maintenance intervals for multi-component system, *Production Planning and Control*, v 17, n 8. December 2006, p 769-779.
- Levitin, G.& Lisnianski, A. (2000). Optimal replacement scheduling in multistate series-parallel systems, *Quality and Reliability Engineering International*, 16(2): 157-162.
- Wang, Y., &Handschin, E. (2000). A new genetic algorithm for preventive unit maintenance scheduling of power systems, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 22(5): 343-348.
- Duarte, J.A.C., Craveiro, J.C.T.A., &Trigo, T.P. (2006). Optimization of the preventive maintenance plan of a series components system, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83(4): 244-248.
- Limbourg, P. & Kochs, H.D. (2006). Preventive maintenance scheduling by variable dimension evolutionary algorithms, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83(4): 262-269.