

M7-015 Pulverizer Maintenance Cost Analyze at Suralaya Power Plant by Risk Based Inspection

Lukman Hakim^{1,3}, Sutrisno², dan A.Zarkasi³

^{1,3}Magister System and Technology of Energy, Gadjah Mada University, E-mail :
l.hakim@bapeten.go.id

² Department of Mechanical Engineering, Gadjah Mada University, E-mail : sutrisno@ugm.ac.id

³Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), E-mail: a.zarkasi@bapeten.go.id

ABSTRACT

As the largest power station in Indonesia, Suralaya power station has a very important role in contributing electricity energy supply to the Java Bali power System. The success of Suralaya to support the reliability and security of Java Bali power system depends mainly on its plant availability performance and system stabilizer performance. Fuel supply will play an important role in supporting plant's performance such mentioned above. The reliability of coal supply will much influence the availability of Suralaya power station in generating electricity energy, and, on the other hand, the quality of coal such as heat content and chemical element content will influence the efficiency and environmental performance of Suralaya power station. Since 2003, Suralaya has been using coal from South Kalimantan that has lower quality than design. The different quality of coal could cause problems on the reliability of the function of power plant energy resources equipment, such as the pulverizer. So it is important to conduct a research to identify risks or failure and quantity the risks, in order to analyze and minimize the risk on pulverizer which could result in company loss.

The research analyze pulverizer maintenance cost for unit 1 – 4 by Risk Based Inspection (RBI) on Pulverizer of Suralaya power plant from 2003 until 2008. Every type of causes and influences of failure risks are analyzed by RBI methodology. Analysis with Matlab 6.1 for gamma distribution is used to analyze the pulverizer data (including inspection cost, failure cost, and replacement cost). Inspection of pulverizer data is later used for analyses prior to inspection, perfect inspection and imperfect inspection. The result of analysis is drawing gamma distribution. The safety margin used to analyze time maximum, time of failure, time of replacement, and time of horizon. So the estimate of pulverizer maintenance cost, interval of inspection and time of failure are found.

From the analytical result, it is known that the component of Pulverizer with the highest risk value is Tire and Grinding Ring Segment (GRS). The pulverizer unit 3 is better than the other units, having an interval time of inspection before 2.5 years with average cost of replacement 155 million rupiahs. Interval time of inspection 4500 hours that made by PT. Indonesia Power UBP Suralaya basically not problematic, even enlarged the range interval inspection with attention to each unit of other critical components, By performing maintenance based on risk priority, it is hoped that the company could focus on components with high value risk. One of the efforts that company can do is to optimize its maintenance intervals, in order to reduce the risk failure.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Program perencanaan untuk manajemen perawatan dan inspeksi pada pembangkit daya di Indonesia saat ini masih berorientasi pada waktu, yang didasarkan pada aturan prespektif (*prescriptives rules*) dan pengalaman dibandingkan dengan proses optimisasi ketika pengukuran resiko untuk ekonomi dan keselamatan diterapkan. Dimana optimisasi perawatan akan tercapai apabila resiko kegagalan dan konsekwensi dari suatu sistim struktur dan komponen (SSK) rendah.

Salah satu perusahaan yang bergerak di bidang ketenagalistrikan di Indonesia adalah PT. Indonesia Power (PT. IP) yang merupakan anak perusahaan dari PLN. PT. IP terdiri dari 8 (delapan) Unit Bisnis Pembangkitan dan 1 (satu) Unit Bisnis Jasa Pemeliharaan. Unit Bisnis Pembangkitan PT. Indonesia Power yang terbesar adalah UBP Suralaya. Kapasitas pembangkitan listrik total UBP Suralaya adalah 3400 MW yang terdiri dari 7 (tujuh) Unit PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) yang bahan bakar utamanya adalah batubara. Unit 1 sampai dengan Unit 4 mempunyai kapasitas masing-masing 400 MW dan Unit 5 sampai dengan Unit 7 mempunyai kapasitas masing-masing 600 MW.

UBP Suralaya menggunakan sistem PLTU, maka boiler merupakan salah satu komponen utamanya. Boiler merupakan mesin konversi energi yang memanaskan air menjadi uap agar bisa menggerakkan turbin, dengan batu bara sebagai bahan bakarnya. Dalam menjalankan fungsi rutinnnya boiler dibantu dengan peralatan-peralatan pendukung, salah satunya adalah pulverizer, yang berfungsi untuk menghaluskan batubara sebelum dibakar oleh Burner. Batu bara dihaluskan untuk mengoptimalkan pembakaran di ruang bakar boiler. Dengan demikian kinerja pulverizer sangat mempengaruhi kinerja boiler secara keseluruhan.

Unit 1 sampai dengan 4 PLTU Suralaya masing-masing mempunyai 5 buah pulverizer, dimana pada desain dinyatakan bahwa dalam kondisi normal 4 pulverizer beroperasi 1 pulverizer stand by. Namun dikarenakan batubara yang sekarang memiliki *High Heating Value* (HHV) yang rendah, maka ke lima pulverizer pada masing-masing unit 1 sampai dengan 4 dioperasikan secara serentak demi memenuhi target. Selain itu laju dari Coal Feeder dipercepat untuk mencapai target pembakaran pada boiler. Kondisi ini mengakibatkan timbulnya masalah perawatan, dimana dengan berbagai pertimbangan pihak manajemen melakukan perubahan jadwal perawatan dan inspeksi pulverized dari 3000 jam menjadi 4500 jam, yang berdampak pada biaya perawatan pulverizer.

1.2. Perumusan Masalah :

Dari hal tersebut di atas maka dalam penelitian ini akan dibahas mengenai perancangan dan penerapan model analisa biaya perawatan dengan metode inspeksi berdasarkan resiko pada PT. Indonesia Power UBP Suralaya, dan sekaligus menganalisa dan memastikan apakah RBI dapat diterapkan pada program perawatan PT Indonesia Power UBP Suralaya dan juga apakah biaya perawatan yang diterapkan manajemen sudah benar-benar optimal.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- Mengidentifikasi resiko kegagalan dari SSK di Pembangkit Daya PT. Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkit Suralaya,
- Menganalisa resiko apa saja yang terjadi dan mekanisme timbulnya resiko tersebut,
- Menentukan nilai probabilitas/kemungkinan terjadinya suatu resiko pada suatu SSK,
- Mengestimasi tingkat resiko dan memprioritaskan resiko-resiko tersebut
- Melakukan evaluasi secara finansial dan mendapatkan konsekuensi biaya atau kerugian yang ditimbulkan akibat kegagalan suatu SSK

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mendapatkan pemahaman menyeluruh terhadap proses sistem pembangkitan daya dengan batu
-

bara khususnya dan pembangkit listrik pada umumnya.

- b. Memberikan kapabilitas untuk mengukur resiko yang terjadi pada pembangkit daya
- c. Menghitung nilai resiko yang ada pada SSK.
- d. Sebagai pertimbangan bagi pihak manajemen untuk menerapkan penilaian resiko pada unit manajemen secara keseluruhan, sehingga nantinya dapat dirancang suatu program Manajemen Perawatan Berdasarkan Resiko bagi perusahaan tersebut.

1.4. Batasan Masalah and Ruang Lingkup :

Mengingat keterbatasan penulis dan kompleksnya permasalahan yang dikaji maka dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

- a. Faktor konsekuensi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dampak terhadap asset, pendapatan perusahaan, dan waktu dan jadwal dari aktivitas perusahaan serta lingkungan sekitar.
- b. Faktor kesalahan manusia tidak didefinisikan sebagai bagian dari penelitian yang akan dilakukan.
- c. SSK yang diteliti hanyalah SSK yang berpengaruh pada produksi tenaga listrik PT. IP UBP Suralaya dan dilakukan pemeringatannya,
- d. Melakukan analisa *risk based inspection* terhadap SSK yang paling beresiko terhadap produksi tenaga listrik,
- e. Keandalan dari SSK yang memiliki resiko tertinggi didasarkan pada data historis kegagalan, sehingga memungkinkan sebagian komponen yang tidak pernah mengalami kegagalan tidak akan dibahas dalam penelitian ini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan metodologi sebagaimana gambar 1, dengan tahapan :

- a. Input data–waktu pengambilan data (inspeksi), ketebalan awal (jari-jari awal), keausan (pengurangan ketebalan), biaya inspeksi, biaya perawatan/rekondisi dan biaya yang diakibatkan karena kegagalan komponen-.
- b. Menentukan perubahan volume keausan dan laju volume keausan untuk setiap tire dan GRS untuk mendapatkan karakteristik data hasil inspeksi (Rata-rata, standar deviasi, covariance), dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Volume Tire } (tn) &= (\pi * r^2) * (2 * \pi * R) \\ \text{Volume GRS } (tn) &= (1/3)(\pi * R^2) * (2 * \pi * R^n) \dots\dots\dots(1) \\ \text{Laju Volume Keausan } (qt) &= \delta V / \delta t \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

- c. Menentukan fungsi densitas invers gamma dari karakteristik data yang diperoleh. Alpha dan betha diperoleh dari persamaan :

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_{(qt)} / t^n \text{ dan } \sigma = \sqrt{\sigma_{(qt)}^2 / t^n} \dots\dots\dots(3) \\ \alpha_0 &= (\mu / \sigma)^2 \text{ dan } \beta = \mu / \sigma^2 \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

dikarenakan peristiwa yang terjadi adalah keausan maka $\alpha = (\alpha_0 * t^n)$. dan sehingga fungsi invers gamma untuk inspeksi sebelumnya (*prior inspeksi*) :

$$\begin{aligned} I_{qt}(x) &= [\beta^\alpha (1/x)^{\alpha+1} \exp(-\beta/x)] / \Gamma(\alpha) \\ &= \exp \{ \alpha \cdot \ln(\beta) - \ln(\Gamma(\alpha)) - (\alpha+1) \cdot \ln(x) - (\beta/x) \}; \\ \text{untuk } X &\geq 0 \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Perhitungan distribusi invers gamma untuk 1 inspeksi yang sempurna di masa akan datang (*posterior for 1 perfect inspection*):

$$\pi(\mu | x) = I_{X(t)} \left(\mu \left| \frac{t}{v^2} + \alpha, \frac{x}{v^2} + \beta \right. \right) \dots\dots\dots(6)$$

Untuk inspeksi yang sempurna (*perfect inspection*) dan inspeksi yang mempunyai eror (*imperfect inspection*)

$$\pi(\mu | x_1, \dots, x_n) = \pi(\mu | x_n) = I_{X(t)} \left(\mu \left| \sum_{i=1}^n \frac{t_n}{v^2} + \alpha, \sum_{i=1}^n \frac{x_n}{v^2} + \beta \right. \right) \dots \dots \dots (7)$$

sehingga diperoleh 3 bentuk grafik distribusi fungsi densitas gamma dari data inspeksi tersebut dalam satu tampilan gambar.

- d. Menentukan jumlah simulasi yang diinginkan dan menentukan margin keselamatan. Margin keselamatan ditentukan bahwa ketebalan tire dan GRS tidak boleh kurang dari 50 % (*Reff. Instruction for the Care and Operation of Babcock Wilcock*) sehingga diasumsikan pada inspeksi yang akan datang terjadi pengurangan ketebalan dikarenakan keausan sebesar 50% dari tebal semula ($\sigma \text{ epsilon} = 0.5 * L_v$). Margin keselamatan tersebut digunakan untuk menentukan waktu maksimum dan Prosentase pergantian komponen.
- e. Nilai waktu maksimum pergantian sementara didapatkan dengan melakukan iterasi laju keausan dengan kenaikan sebesar 0.15. Prosentase tingkat pergantian komponen (Rho) diasumsikan sebesar 0,7 (komponen akan diganti pada saat pengurangan laju keausan sebesar 0.7 dari laju keausan). Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan iterasi, waktu maksimum komponen untuk inspeksi, pergantian komponen, dan saat terjadinya kegagalan.
- f. Selanjutnya dilakukan perhitungan faktor resiko atau taksiran biaya per kegagalan komponen setiap interval waktu, dengan persamaan:

$$C(\rho, \Delta k) = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} c_i(\rho, \Delta k) p_i(\rho, \Delta k)}{\sum_{i=1}^{\infty} i p_i(\rho, \Delta k)} \dots \dots \dots (8)$$

Persamaan (8) menunjukkan bahwa suatu siklus merupakan lamanya suatu komponen mulai beroperasi hingga diganti atau mengalami kegagalan. Sehingga dalam penggunaan persamaan tersebut diasumsikan bahwa komponen akan diganti dengan yang baru. Biaya rata-rata yang ditaksir/diperkirakan per unit waktu merupakan fungsi dari interval waktu inspeksi Δk dan persentase ρ , yang diperoleh dari *corrosion allowance*. Dalam model ini diasumsikan bahwa *corrosion allowance* akan selalu ada dan pemeringkatan perawatan pencegahan tidak digunakan, sehingga persentase ρ tetap.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN :

Komponen pulverizer yang paling beresiko mengalami kerusakan adalah tire dan GRS. Kerusakan yang terjadi dipengaruhi oleh indeks ketergerusan (*grindability index/hardgrove index*) batu bara yang masuk ke pulverizer. Jika nilai ketergerusan batubara yang masuk pulverizer tinggi maka kerusakan yang terjadi pada tire dan GRS lambat, sebaliknya jika nilai ketergerusan rendah maka tire dan GRS cepat mengalami kerusakan. Hal ini terlihat dari tabel 1 bahwa sejak tahun 2005 biaya kegagalan meningkat dengan drastis dan mencapai puncaknya pada tahun 2007, hal ini menunjukkan bahwa batu bara yang digunakan oleh PT. IP UBP Suralaya pada periode tersebut memiliki nilai ketergerusan yang rendah. Hasil analisa matlab mendukung hal tersebut di atas.

Dari data yang terdapat pada bidang perawatan didapatkan biaya inspeksi dan biaya pergantian/rebuild. Biaya inspeksi untuk setiap unit Rp. 200.000.000,- sedangkan tiap 1 unit terdiri dari 5 pulverizer (5x 3 tire dan 5 x 1 GRS) sehingga biaya inspeksi per tire Rp 10.000.000,- dan per GRS Rp. 10.000.000,- Biaya pergantian/rebuild untuk 1 pulverizer Rp. 280.000.000,- sehingga biaya pergantian/rebuild per tire Rp. 70.000.000,- dan per GRS Rp. 70.000.000,- Tabel 1 memperlihatkan biaya kegagalan untuk setiap unit dengan asumsi biaya rata-rata jual per kwh Rp. 700,- (periode 2003 – 2008).

Inspeksi pengukuran tingkat keausan dari Tire dan Grinding Ring Segment (GRS) dilakukan

dengan melakukan pengukuran aktual kondisi tire dan GRS secara periodik, diperoleh hasil sebagaimana tabel 2.

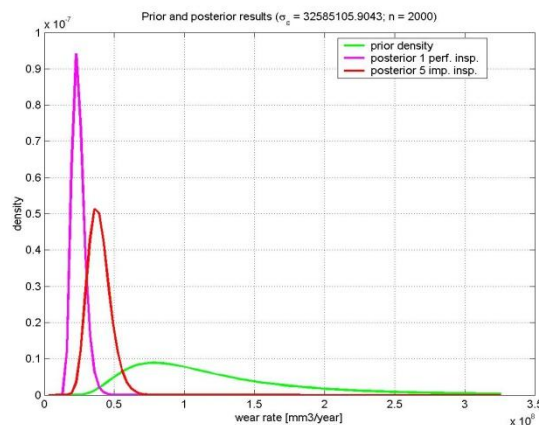
Tabel 1. Biaya Kegagalan Rata-Rata Untuk Tiap Unit

Tahun	Unit 1		Unit 2		Unit 3		Unit 4	
	Loss (KWH)	Biaya Failure	Loss (KWH)	Biaya Failure	Loss (KWH)	Biaya Failure	Loss (KWH)	Biaya Failure
2003	4.816	3.371,109	11.240	7.867,671	5.569	3.897,453	7.961	5.576,690
2004	8.124	5.696,814	8.724	6.106,979	9.212	6.448,162	18.783	13.148,191
2005	5.458.815	3.821.170.500	14.927.510	10.449.267.000	3.922.553	2.745.788.500	4.728.725	3.310.107.500
2006	5.798.624	4.059.036.800	22.138.433	15.496.901.000	2.141.990	1.499.993.000	6.306.281	4.414.366.700
2007	37.186.874	26.076.811.814	28.540.778	19.978.543.063	4.282.571	2.997.762.180	145.972.714	102.180.899.629
2008	1.706.391	1.194.473.293	15.520.339	10.884.586.593	4.141.844	2.899.150.450	7.464.225	5.224.957.500
Total	50.143.643	35.190.530.387	81.147.518	56.803.262.658	14.503.485	10.152.439.745	164.488.695	115.149.086.206
Biaya/pulverizer		7.020.110.077		11.360.692.531		2.030.487.949		23.029.817.241
Biaya/tire		1.755.027.519		2.840.163.133		507.621.987		5.757.454.310
Biaya/GRS		1.755.027.519		2.840.163.133		507.621.987		5.757.454.310

Biaya Inspeksi	Rp. 200.000.000,-/unit	Rp.40.000.000,-/pulverizer	Rp.10.000.000,-/tire	Rp.10.000.000,-/GRS
Biaya Penggantian	Rp. 280.000.000,-/pulverizer	Rp. 70.000.000,-/tire	Rp. 70.000.000,-/GRS	
Biaya failure + Pengantar	1.825.027.519	2.910.163.133	577.621.987	5.827.454.310

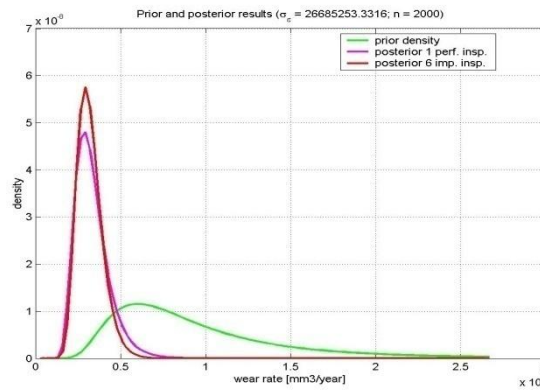
Dari analisa matlab diperoleh 3 model bentuk grafik perbandingan antara probabilitas densitas dari inspeksi sebelumnya, inspeksi sempurna (*perfect inspection*) dan inspeksi tidak sempurna dengan adanya eror pengukuran (*imperfect inspection*). Ke tiga bentuk grafik tersebut adalah :

a. *Prior density > Imperfect density > Perfect density*



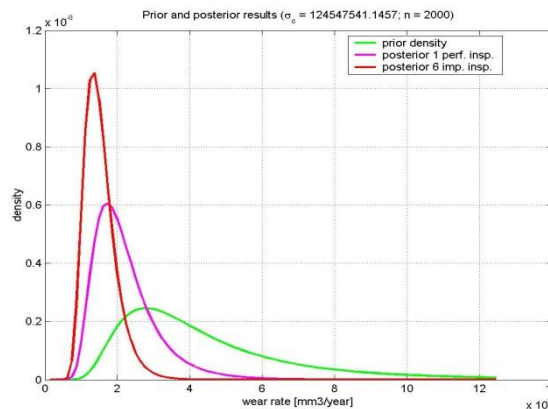
Grafik bentuk (a) menunjukkan bahwa distribusi fungsi gamma untuk data hasil inspeksi *prior* memiliki laju keausan yang lebih besar dibandingkan dengan distribusi fungsi gamma inspeksi *imperfect*, apalagi dengan inspeksi *perfect*. Kondisi ini terjadi pada 67 komponen (tire dan GRS) atau sebesar 83,75 % dan menunjukkan bahwa pengambilan data inspeksi telah betul tetapi batubara yang masuk ke pulverizer memiliki mutu yang tidak baik/tidak bagus. Batubara yang tidak baik (terlalu lunak) mengakibatkan tire dan GRS bergesekan, sehingga mengakibatkan keausan pada tire dan GRS semakin besar besar/meningkat.

b. *Prior density > Perfect density = Imperfect density*



Grafik bentuk (b) menunjukkan bahwa distribusi fungsi gamma untuk data hasil inspeksi *imperfect* = inspeksi *perfect*, dan inspeksi prior memiliki laju keausan yang lebih besar dibandingkan dengan distribusi fungsi gamma inspeksi *perfect*, dan inspeksi *imperfect*. Kondisi dimana laju keausan inspeksi imperfect sama dengan laju perfect merupakan suatu kondisi yang tidak mungkin terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini terjadi pada 6 buah komponen (tire dan GRS) atau sebesar 7,5 % dan menunjukkan bahwa terjadi pengambilan data inspeksi yang salah (baik dari segi teknik pengambilan data ataupun waktu pengambilan data), dan batu bara yang digunakan memiliki mutu yang tidak baik/tidak bagus.

c. *Prior density > Perfect density > Imperfect density*

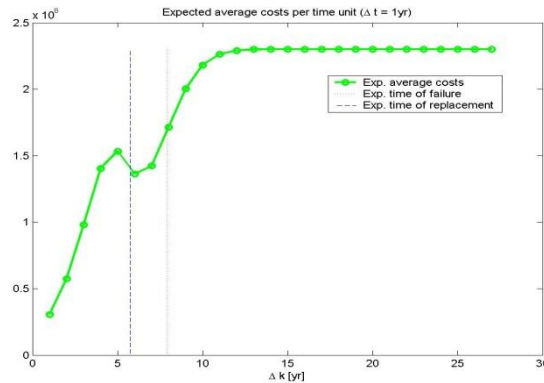


Grafik bentuk (c) menunjukkan bahwa distribusi fungsi gamma untuk data hasil inspeksi *imperfect* berada dibelakang data inspeksi *perfect*, dan inspeksi prior memiliki laju keausan yang lebih besar dibandingkan dengan distribusi fungsi gamma inspeksi *perfect*, apalagi dengan inspeksi *imperfect*. Kondisi ini terjadi pada 7 buah komponen (tire dan GRS) atau 8,75 % dan menunjukkan bahwa terjadi pengambilan data inspeksi yang salah (baik dari segi teknik pengambilan data ataupun waktu pengambilan data) dan mutu batu bara yang masuk ke pulverizer tidak bagus / tidak baik.

Dari analisa biaya inspeksi, biaya perawatan dan biaya kegagalan terhadap pulverizer dengan menggunakan program matlab didapatkan model grafik waktu dan biaya bila terjadi kegagalan atau terjadinya pergantian komponen tire dan GRS tiap pulverizer sebagaimana berikut :

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Untuk tiap unit diperoleh :

- Unit 1
Waktu minimal pergantian komponen 3,70 tahun dengan biaya Rp. 300 juta dan waktu kegagalan minimal 4,70 tahun dengan biaya Rp. 335 juta terjadi pada tire 1 pulverizer unit 1.
- Unit 2
Waktu minimal pergantian komponen 3,80 tahun dengan biaya Rp. 320 juta dan waktu kegagalan minimal 5,20 dengan biaya Rp. 430 juta terjadi pada tire 3 pulverizer 2E
- Unit 3
Waktu minimal pergantian komponen 2,5 tahun dengan biaya Rp. 155 juta dan waktu kegagalan 3,2 tahun dengan biaya Rp. 160 juta, pada tire 1 pulverizer 3B,
- Unit 4
Waktu minimal pergantian komponen 3,80 tahun dengan biaya Rp. 500 juta dan waktu kegagalan 5,2 tahun dengan biaya Rp. 840 juta, pada GRS pulverizer 4A.

Dari analisa perhitungan biaya dengan matlab menunjukkan bahwa tire dan GRS dari pulverizer PT. Indonesia Power UBP Suralaya mempunyai jangkauan waktu pergantian komponen $2,5 \text{ tahun} \leq \Delta k \leq 25 \text{ tahun}$ dan jangkauan waktu kegagalan $3,2 \text{ tahun} \leq \Delta k \leq 35,2 \text{ tahun}$. Sehingga dapat dibuat rencana program perawatan pulverizer dengan interval waktu:

No.	Unit	Interval Waktu Inspeksi
1.	Unit 1	Dilakukan sebelum 3,70 tahun
2.	Unit 2	Dilakukan sebelum 3,80 tahun
3.	Unit 3	Dilakukan sebelum 2,50 tahun
4.	Unit 4	Dilakukan sebelum 3,80 tahun

4. KESIMPULAN DAN SARAN :

Dari hasil analisa dan perhitungan dengan program matlab dapat disimpulkan bahwa :

- Program manajemen perawatan pulverizer PT. Indonesia Power UBP Suralaya dengan interval waktu inspeksi tiap unit adalah :

No.	Unit	Interval Waktu Inspeksi
1.	Unit 1	Dilakukan sebelum 3,70 tahun

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

2.	Unit 2	Dilakukan sebelum 3,80 tahun
3.	Unit 3	Dilakukan sebelum 2,50 tahun
4.	Unit 4	Dilakukan sebelum 3,80 tahun

- b. Interval waktu 4500 jam yang dilakukan oleh PT. Indonesia Power UBP Suralaya pada dasarnya tidak bermasalah, bahkan dapat diperbesar jangkauan interval waktu inspeksinya untuk masing-masing unit dengan memperhatikan komponen-komponen kritikal lainnya,
- c. Permasalahan dalam program perawatan pulverizer di PT. Indonesia Power UBP Suralaya adalah digunakannya batubara yang berkualitas/mutu tidak baik; nilai ketergerusan batubara yang rendah maka tire dan GRS cepat mengalami kerusakan dan nilai *Higher Heating Value (HHV)* yang lebih rendah dari nilai yang biasanya (sekitar 5100 kiloKalori/kg) sehingga mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna sehingga timbul kerak-kerak disepanjang perpipaan bagian dalam dari boiler

Dari kesimpulan di atas penulis menyarankan :

- a. Tindakan pencegahan digunakannya batubara yang berkualitas/mutu tidak baik,
- b. Apabila kondisi a) tak dapat dilakukan dimana batubara kualitas rendah tetap digunakan maka selain tindakan yang telah dilakukan PT. UBP Suralaya dengan cara meningkatkan mutu batu bara tingkat rendah melalui proses blending dan atau UBC (*Upgrading Brown Coal*) maupun diubah menjadi BBG (*Coal Gasification*) atau BBM (*Coal Liquefaction*). Perlu dipasangnya /ditambahkannya suatu sistim kontrol optimal *Linear Quadratic Gaussian* pada kontrol yang sudah ada dalam pulverizer agar diperoleh produk yang optimal dan proses yang bebas dari gangguan. Pengendalian terhadap temperatur serta rasio campuran antara udara primer dengan batubara. Temperatur berpengaruh terhadap keamanan dan juga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai pembakaran optimal, sedangkan rasio campuran berpengaruh terhadap kualitas api yang dihasilkan.
- c. Modifikasi terhadap pulverizer dengan memasang/membuat 3 (tiga) system penggerusan bertenaga *hydropheneumatic* yang otomatis. Sistem akan bekerja menyesuaikan dengan mutu batubara yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Babcock Wilcock, Fossil Power Division, *Pulverized Fuel Systems Type MPS 89 Instruction Care and Operation*, February 2, 1981
- Bedford, T., Cooke, R., 2001. *Probabilistic Risk Analysis*
- Brown, S. J., and May, I. L. (2000). *Risk-based hazardous release prevention by inspection and maintenance*. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 122(8), 362–367.
- Cagno, E., Cron, F., Mancini, M., and Ruggeri, F. (2000). *Using AHP in determining the prior distributions on gas pipeline failures in a robust Bayesian approach*. *Reliability Engineering and System Safety*, 67, 275–284.
- Cramer, K.E., Jacobstein, R., Reilly, T., 2001. *Boiler Tube Corrosion Characterization with a Scanning Thermal Line*. NASA Langley Research Center.
- Davis, G.D., Dacres, C.M., Shook, M.B., 2000. *Development of an Electrochemistry-based Corrosion Sensor to Monitor Corrosion of Boiler Tubes, Pipes and Painted Structures*. Construction Engineering Research Laboratory.
- Dey, P. K., and Gupta, S. S. (2001). *Risk based model aids selection of pipeline inspection, maintenance strategies*. *Oil and Gas Journal*, July 9, 54–60.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

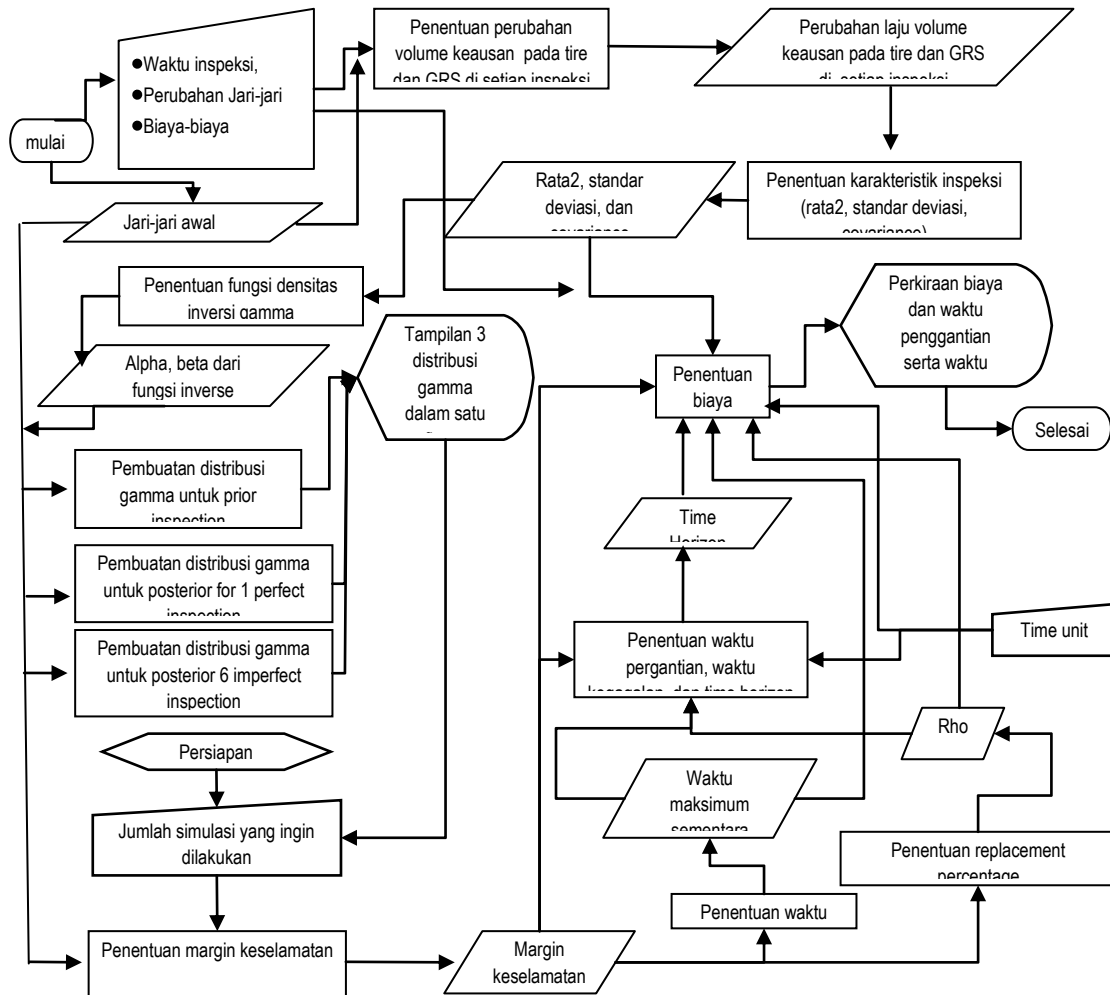
Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- Faber, M. H., Englund, S., Sorensen, J. D., and Bloch, A. (2000). *Simplified and generic risk based inspection planning*. In Proceeding OMAE 2000. New Orleans, LA: OMAE.
- Faber, M. H., and Sorensen, J. D. (1999). *Aspect of inspection planning—Quality and quantity*. In Proceeding of ICASP 1998. Sydney, Australia: ICASP.
- Faber, M. H., Straub, D., and Goyet, J. (2003). *Unified approach to risk based inspection planning for offshore production facilities*. Journal of OMAE, 125, 126–131.
- Jasanoff, S., 1994. *Learning from Disaster: Risk Management after Bhopal*. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 291.
- Jovanovic, A., 2004. *Challenges in Application of Risk-based Approaches: Experiences and Examples from the European Practice*. Technical Research Center of Finland, pp. 9–30.
- Khan, F. I., and Haddara, M. (2003a). *RBM: A new approach for process plant inspection and maintenance*. Presented at Proceedings of AIChE's Loss Prevention Conference, April 1–3, New Orleans, LA.
- Khan, F. I., and Haddara, M. (2003b). *Risk-based maintenance (RBM): A quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning*. Journal of Loss Prevention in Process Industries, 16, 561–573.
- Khan, F. I., and Haddara, M. (2004). *Risk-based maintenance of ethylene oxide production facilities*. Journal of Hazardous Materials, A108, 147–159.
- Khan, F. I., Sadiq, R., and Haddara, M. (2004). *Risk-based inspection and maintenance (RBIM): Multi-attribute decision-making with aggregative risk analysis*. Transaction of IChemE Process Safety and Environmental Protection, 86 (B2), 398–411.
- Khan, F. I., Sadiq, R., Haddara, M. and Bhattacharya, S.K. (2006). *Risk-Based Integrity and Inspection Modeling (RBIIM) of Process Components/System Risk Analysis*, Vol. 26, No. 1.
- Kletz, T.A., 1994. *Learning from Accidents*. Butterworth-Heinemann, Oxford, Boston, 255.
- Koch, G.H., Appendix, L., 1998. *Electrical Utilities*. CC Technologies Laboratories Inc., Dublin, Ohio.
- Lotsberg, I., Sigurdsson, G., and Wold, P. T. (1998). Probabilistic inspection planning of the Asgaard A FPSO hull structure with respect to fatigue. Presented at *Proceeding of OMAE 1999*, Newfoundland, Canada.
- Mannan, S., 2004. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification Assessment and Control*, third ed. Elsevier.
- Marshall, V.C., 1979. *Disaster at Flixborough: A Case Study*. Exeter, Wheaton.
- M.J. Kallen, J.M. van Noortwijk, [Optimal maintenance decisions under imperfect inspection](#), Reliability Engineering and System Safety, Volume 90, Issues 2-3, November-December 2005, Pages 177-185
- Montgomery, R. L., and Serratella, C. (2002). *Risk-based maintenance: A new vision for asset integrity management*. Pressure Vessel and Piping, 444, 151–165
- Mr J B Wintle and Mr B W Kenzie Mr G J Amphlett and Mr S Smalley, *Best practice for risk based inspection as a part of plant integrity management*, HSE Book, 2001
- Muhlbauer, W. K. (1992). *Pipeline Risk Management Manual*. Houston, TX: Gulf Publishing Company.
- Poyarkov, V., et al., 2000. *The Chernobyl Accident: A Comprehensive Risk Assessment*. In: Vargo, G.J. (Ed.), Battelle Press, Columbus, OH.
- Sullivan, G.P., et al., 2002. *Operating and Maintenance Best Practices, A Guide to Achieving Operational Efficiency*. Pacific Northwest National Laboratory (Prepared for the Federal Energy Management Program U.S. Department of Energy).
- Shiaw-Wen Tien, Wen-Tsung Hwang, Chih-Hung Tsai, [Study of a risk-based piping inspection guideline system](#), ISA Transactions, Volume 46, Issue 1, February 2007, Pages 119-126
-

Steve Roberts - Surface Engineering -Wear- http://www-sgrgroup.materials.ox.ac.uk/lectures/surface_handout_4.pdf

Willcocks, J., and Bai, Y. (2000). *Risk based inspection and integrity management of pipeline systems*. International Society of Offshore and PolarEngineers, II, 285-294.

Gambar 1. Flow Chart Penelitian



Tabel 2. Kondisi Keausan Pulverizer di setiap Unit

Unit 1 :

Pulverizer 1 A	Kondisi Keausan mm				Inspeksi
	TR 1	TR 2	TR 3	GRS	
	0	0	0	0	31/12/2003
	8	10	9	4	08/02/2004
	14	20	16	8	21/09/200

Pulverizer 1 C	Kondisi Keausan mm				Inspeksi
	TR 1	TR 2	TR 3	GR S	
	0	0	0	0	12/03/2005
	5	6	8	6	20/05/2006
	20	19	19	10	09/01/200

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Pulverizer 1 B					4	Pulverizer 1 D					7
	20	27	23	15	14/03/2005		24	23	24	17	30/06/2007
	26	34	30	25	17/12/2005		33	29	33	20	01/03/2008
	35	39	35	30	08/05/2006		34	35	35	22	12/10/2008
	52	52	45	43	14/06/2007		0	0	0	0	08/02/2004
	0	0	0	0	01/03/2008		5	9	8	6	07/10/2004
	5	7	4	10	29/08/2008		7	12	10	7	06/05/2005
	0	0	0	0	08/02/2004	25	31	30	20	17/12/2005	
	15	14	10	15	10/08/2004	28	33	40	30	28/05/2006	
	30	34	25	25	08/05/2005	36	36	60	33	18/06/2007	
	36	43	30	30	17/12/2005	0	0	0	0	01/03/2008	
	55	50	40	40	08/05/2006	4	8	4	10	04/09/2008	
	64	82	67	43	22/06/2007	0	0	0	0	08/02/2004	
	0	0	0	0	09/12/2007	9	7	10	8	29/09/2004	
	8	5	7	5	19/09/2008	20	15	20	17	13/06/2005	
						23	19	24	24	17/12/2005	
						32	29	31	29	02/06/2006	
						46	41	46	33	27/06/2007	
						0	0	0	0	01/03/2008	
						3	4	5	15	24/07/2008	

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Unit 3 :

	Kondisi Keausan mm				Inspeksi		Kondisi Keausan mm				Inspeksi
	TR 1	TR 2	TR 3	GRS			TR 1	TR 2	TR 3	GRS	
Pulverizer 3 A	0	0	0	0	20/04/2004	Pulverizer 3 B	0	0	0	0	25/11/2004
	7	7	7	10	25/11/2004		18	7	10	6	07/02/2005
	10	10	10	15	01/05/2005		24	13	17	10	31/12/2005
	19	18	17	20	04/01/2006		27	23	24	13	01/07/2006
	26	22	25	20	01/07/2006		38	40	32	25	30/07/2007
	35	33	37	30	16/03/2007		0	0	0	0	27/05/2008
	0	0	0	0	27/05/2008		7	7	7	5	14/11/2008
	19	12	16	5	11/11/2008						
Pulverizer 3 C	0	0	0	0	21/05/2004	Pulverizer 3 D	0	0	0	0	28/04/2003
	10	8	8	5	25/11/2004		10	8	8	5	11/06/2003
	14	13	13	10	04/11/2005		15	22	14	10	25/11/2004
	28	22	28	20	13/01/2006		25	33	24	15	19/06/2005
	33	26	33	25	01/07/2006		30	43	34	20	09/01/2006
	38	37	38	30	16/03/2007		40	49	40	22	01/07/2006
	45	40	40	34	13/01/2008		50	52	52	25	02/08/2007
	0	0	0	0	27/05/2008		0	0	0	0	24/12/2007
Pulverizer 3 E	0	0	0	0	21/12/2004						
	11	12	10	13	26/06/2005						
	20	24	25	15	27/12/2005						
	25	30	31	17	01/07/2006						
	30	32	34	17	18/12/2006						
	35	50	55	30	21/11/2006						

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

					7
40	56	58	33	27/05/2008	

Unit 4

Pulverizer 4 A	Kondisi Keausan mm				Inspeksi
	TR 1	TR 2	TR 3	GRS	
	0	0	0	0	17/12/2005
	15	15	15	20	02/09/2006
	24	22	25	36	21/05/2007
	30	28	30	30	25/03/2008
	0	0	0	0	28/04/2008
Pulverizer 4 B	0	0	0	0	03/02/2003
	5	5	6	5	15/10/2003
	10	9	11	14	21/03/2004
	17	16	17	16	16/12/2004
	25	25	25	30	08/09/2005
	35	31	36	40	28/02/2006
	0	0	0	0	21/05/2007
	5	8	12	38	17/07/2008
	0	0	0	0	01/12/2008
Pulverizer 4 E	0	0	0	0	21/03/2004
	7	6	9	10	28/11/2004
	17	15	15	17	08/02/2005
	25	23	21	40	28/02/2006
	30	33	30	46	10/09/2006

Pulverizer 4 C	Kondisi Keausan mm				Inspeksi
	TR 1	TR 2	TR 3	GRS	
	0	0	0	0	01/11/2005
	12	5	9	15	28/08/2006
	18	10	18	28	21/05/2007
	22	16	21	30	27/10/2007
	25	18	23	32	04/07/2008
Pulverizer 4 D	0	0	0	0	03/02/2003
	5	5	5	8	15/10/2003
	8	8	9	10	21/03/2004
	10	11	15	16	31/10/2004
	15	16	20	40	27/07/2005
	25	23	24	42	28/02/2006
	37	36	30	48	16/08/2006
	0	0	0	0	21/05/2007
	5	5	5	10	29/10/2007
8	8	9	14	09/06/2008	

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

					6
	33	36	39	54	21/05/2007

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Tabel 3. Posisi Puncak Laju Keausan, Taksiran Waktu Terjadi dan Biaya Bila Terjadi Kegagalan Atau Pergantian Komponen Untuk Tire dan GRS

No	Pulverizer / Unit /Komponen	Posisi Puncak Laju Keausan	Taksiran Waktu Terjadi dan Biaya	
			Pergantian Komponen	Kegagalan
1.	Pulverizer 1A- Tire 1	Prior > perfect > imperfect	<i>3,70 tahun; 300 juta</i>	<i>4,70 tahun; 335 juta</i>
2.	Pulverizer 1A- Tire 2	Prior > perfect > imperfect	5,85 tahun; 160 juta	8,10 tahun; 175 juta
3.	Pulverizer 1A- Tire 3	Prior > perfect > imperfect	6,00 tahun; 152 juta	8,20 tahun; 170 juta
4.	Pulverizer 1A- GRS	Prior > perfect = imperfect	5,75 tahun; 140 juta	8,00 tahun; 170 juta
5.	Pulverizer 1B- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	6,50 tahun; 75 juta	9,10 tahun; 160 juta
6.	Pulverizer 1B- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	5,00 tahun; 25 juta	7,00 tahun; 260 juta
7.	Pulverizer 1B- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	6,00 tahun; 40 juta	8,25 tahun; 175 juta
8.	Pulverizer 1B- GRS	Prior > imperfect > perfect	6,00 tahun; 95 juta	8,00 tahun; 160 juta
9.	Pulverizer 1C- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	14,0 tahun; 45 juta	20,0 tahun; 64 juta
10.	Pulverizer 1C- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	22,0 tahun; 30 juta	31,5 tahun; 37,5 juta
11.	Pulverizer 1C- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	21,0 tahun; 30 juta	29,0 tahun; 45 juta
12.	Pulverizer 1C- GRS	Prior > imperfect > perfect	22,5 tahun; 30 juta	32,0 tahun; 43 juta
13.	Pulverizer 1D- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	15,5 tahun; 45 juta	22,0 tahun; 58 juta
14.	Pulverizer 1D- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	13,0 tahun; 45 juta	18,0 tahun; 75 juta
15.	Pulverizer 1D- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	8,50 tahun; 60 juta	12,0 tahun; 110 juta
16.	Pulverizer 1D- GRS	Prior > imperfect > perfect	16,0 tahun; 14 juta	22,0 tahun; 53 juta
17.	Pulverizer 1E- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	12,0 tahun; 25 juta	17,0 tahun; 100 juta
18.	Pulverizer 1E- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	14,5 tahun; 40 juta	20,5 tahun; 70 juta
19.	Pulverizer 1E- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	11,0 tahun; 10 juta	15,5 tahun; 95 juta
20.	Pulverizer 1E- GRS	Prior > imperfect > perfect	9,50 tahun; 50 juta	13,5 tahun; 110 juta
21.	Pulverizer 2A- Tire	Prior > imperfect >	12,0 tahun; 77,5	17,0 tahun;

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

	1	perfect	juta	127,5 juta
22.	Pulverizer 2A- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	22,0 tahun; 40 juta	31,0 tahun; 65 juta
23.	Pulverizer 2A- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	20,5 tahun; 60 juta	29,0 tahun; 70 juta
24.	Pulverizer 2A- GRS	Prior > imperfect > perfect	13,5 tahun; 60 juta	19,5 tahun; 110 juta
25.	Pulverizer 2B- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	9,50 tahun; 70 juta	13,0 tahun; 170 juta
26.	Pulverizer 2B- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	14,8 tahun; 50 juta	21,0 tahun; 115 juta
27.	Pulverizer 2B- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	10,5 tahun; 80 juta	14,5 tahun; 160 juta
28.	Pulverizer 2B- GRS	Prior > imperfect > perfect	23,0 tahun; 50 juta	33,0 tahun 60 juta
29.	Pulverizer 2C- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	20,0 tahun; 3 juta	28,0 tahun; 105 juta
30.	Pulverizer 2C- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	12,0 tahun; 10 juta	16,4 tahun; 125 juta
31.	Pulverizer 2C- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	12,0 tahun; 30 juta	17,0 tahun; 140 juta
32.	Pulverizer 2C- GRS	Prior > imperfect > perfect	18,5 tahun; 55 juta	26,5 tahun; 75 juta
33.	Pulverizer 2D- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	19,5 tahun; 55 juta	28,0 tahun; 68 juta
34.	Pulverizer 2D- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	14,0 tahun; 75 juta	20,0 tahun; 90 juta
35.	Pulverizer 2D- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	16,0 tahun; 70 juta	23,0 tahun, 80 juta
36.	Pulverizer 2D- GRS	Prior > perfect = imperfect	15,1 tahun; 75 juta	21,5 tahun; 83 juta
37.	Pulverizer 2E- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	5,60 tahun; 180 juta	7,80 tahun; 270 juta
38.	Pulverizer 2E- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	6,00 tahun; 175 juta	8,50 tahun; 240 juta
39.	Pulverizer 2E- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	3,80 tahun; 320 juta	5,20 tahun; 430 juta
40.	Pulverizer 2E- GRS	Prior > imperfect > perfect	8,5 tahun; 90 juta	12,5 tahun ; 160 juta
41.	Pulverizer 3A- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	8,00 tahun; 27,5 juta	12 tahun; 40 juta
42.	Pulverizer 3A- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	13,0 tahun; 13 juta	18,5 tahun; 25 juta
43.	Pulverizer 3A- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	12,0 tahun; 14 juta	16,5 tahun; 25 juta
44.	Pulverizer 3A- GRS	Prior > imperfect > perfect	10,0 tahun; 20 juta	14,0 tahun; 32,5 juta
45.	Pulverizer 3B- Tire	Prior > perfect =	2,50 tahun; 155	3,20 tahun; 160

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

	1	imperfect	<i>juta</i>	<i>juta</i>
46.	Pulverizer 3B- Tire 2	Prior > perfect = imperfect	9,80 tahun; 25 juta	14,0 tahun; 30 juta
47.	Pulverizer 3B- Tire 3	Prior > perfect = imperfect	4,30 tahun; 75 juta	5,80 tahun; 84 juta
48.	Pulverizer 3B- GRS	Prior > perfect = imperfect	12,0 tahun; 22,5 juta	17 tahun; 24 juta
49.	Pulverizer 3C- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	9,80 tahun; 20 juta	13,5 tahun; 32,5 juta
50.	Pulverizer 3C- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	9,98 tahun; 16 juta	14,0 tahun; 34 juta
51.	Pulverizer 3C- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	13,5 tahun; 17,5 juta	18,5 tahun; 25 juta
52.	Pulverizer 3C- GRS	Prior > imperfect > perfect	19,5 tahun; 13 juta	27,7 tahun; 15 juta
53.	Pulverizer 3D- Tire 1	Prior > perfect > imperfect	8,00 tahun; 36 juta	12,0 tahun; 38 juta
54.	Pulverizer 3D- Tire 2	Prior > perfect > imperfect	7,20 tahun; 42 juta	10,0 tahun; 46 juta
55.	Pulverizer 3D- Tire 3	Prior > perfect > imperfect	9,50 tahun; 32 juta	13,0 tahun; 34 juta
56.	Pulverizer 3D- GRS	Prior > perfect > imperfect	15,2 tahun; 18 juta	21,5 tahun; 20 juta
57.	Pulverizer 3E- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	10,5 tahun; 20 juta	14,5 tahun; 30 juta
58.	Pulverizer 3E- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	9,50 tahun; 20 juta	13,5 tahun; 33 juta
59.	Pulverizer 3E- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	8,00 tahun; 20 juta	12,0 tahun; 40 juta
60.	Pulverizer 3E- GRS	Prior > imperfect > perfect	9,50 tahun; 25 juta	13,0 tahun; 32 juta
61.	Pulverizer 4A- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	4,4 tahun; 400 juta	6,00 tahun; 820 juta
62.	Pulverizer 4A- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	7,8 tahun; 200 juta	10,8 tahun; 420 juta
63.	Pulverizer 4A- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	6,8 tahun; 200 juta	9,80 tahun; 450 juta
64.	Pulverizer 4A- GRS	Prior > imperfect > perfect	3,8 tahun; 500 juta	5,20 tahun; 840 juta
65.	Pulverizer 4B- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	17 tahun; 115 juta	24,0 tahun; 170 juta
66.	Pulverizer 4B- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	12 tahun; 90 juta	17 tahun; 250 juta
67.	Pulverizer 4B- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	16 tahun; 125 juta	23 tahun; 220 juta
68.	Pulverizer 4B- GRS	Prior > imperfect > perfect	9,0 tahun; 150 juta	12,5 tahun; 350 juta
69.	Pulverizer 4C- Tire	Prior > imperfect >	11,5 tahun; 100	16 tahun; 290

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

	1	perfect	juta	juta
70.	Pulverizer 4C- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	15 tahun; 60 juta	21 tahun; 225 juta
71.	Pulverizer 4C- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	12 tahun; 100 juta	16,5 tahun; 275 juta
72.	Pulverizer 4C- GRS	Prior > imperfect > perfect	7,5 tahun; 200 juta	10,5 tahun; 400 juta
73.	Pulverizer 4D- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	20,2 tahun; 100 juta	29 tahun; 125 juta
74.	Pulverizer 4D- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	24,5 tahun; 90 juta	34,5 tahun; 120 juta
75.	Pulverizer 4D- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	25 tahun; 25 juta	35,2 tahun; 120 juta
76.	Pulverizer 4D- GRS	Prior > imperfect > perfect	12,5 tahun; 125 juta	17,5 tahun; 225 juta
77.	Pulverizer 4E- Tire 1	Prior > imperfect > perfect	8,5 tahun; 175 juta	13 tahun; 325 juta
78.	Pulverizer 4E- Tire 2	Prior > imperfect > perfect	10,5 tahun; 150 juta	15 tahun; 275 juta
79.	Pulverizer 4E- Tire 3	Prior > imperfect > perfect	9,5 tahun; 175 juta	13,5 tahun; 330 juta
80.	Pulverizer 4E- GRS	Prior > imperfect > perfect	8 tahun; 110 juta	11,5 tahun; 400 juta