

Analisis Strategi Pemeliharaan *Preventive Maintenance* Excavator Menggunakan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Analisis Sensitivitas

Analysis Of Excavator Preventive Maintenance Strategy Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach and Sensitivity Analysis

Futry Rejeki Sitinjak¹, Fitriani Tupa R. Silalahi^{1*}

¹Program Studi Manajemen Rekayasa, Institut Teknologi Del, Toba Samosir, Indonesia
Penulis korespondensi: Fitriani Tupa R. Silalahi, fitrianitupa@gmail.com


Abstrak

PT Toba Pulp Lestari, Tbk adalah produsen pulp industri yang berkembang pesat pada beberapa tahun terakhir ini. Excavator merupakan salah satu alat produksi yang penting bagi PT TPL untuk digunakan untuk kegiatan pre bunching, extraction, pengupasan kayu dan pemuatan. Perusahaan membutuhkan perawatan yang tepat pada excavator untuk meningkatkan kinerja dan menghindari terjadinya kerusakan karena eskavator masih mengalami kerusakan sebanyak 3 – 4 kali dalam sebulan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk dapat menentukan pemilihan strategi pemeliharaan preventive maintenance pada excavator yang tepat sasaran supaya dapat meminimalisir kerusakan, dapat mempertahankan keandalan dari excavator, serta dapat memberikan pemeliharaan yang optimal. Metode penelitian yang digunakan adalah Analytical hierarchy process (AHP) dan Analisis Sensitivitas. Hasil yang diperoleh dari metode AHP adalah kriteria safety memiliki bobot prioritas paling besar yaitu 0,317 dan alternatif yang memiliki bobot prioritas paling besar yaitu perawatan berkala (periodic maintenance) dengan bobot sebesar 0,577. Kemudian diikuti dengan perawatan berbasis kondisi (condition base maintenance) sebesar 0,212 dan yang terakhir adalah perawatan perbaikan (schedule overhaul) sebesar 0,211. Selanjutnya pada metode Analisis Sensitivitas terdapat dua kriteria yang sensitif terhadap perubahan bobot yaitu kriteria Safety dan kriteria Kualitas. Strategi pemeliharaan perawatan berkala (periodic maintenance) memiliki bobot terbesar, maka dipilih sebagai strategi yang paling tepat digunakan sebagai pemeliharaan yang optimal serta diharapkan mampu menjadi solusi yang efektif sehingga berhasil mengurangi kerusakan dan dapat mempertahankan keandalan dari excavator.

Kata kunci: analisis sensitivitas, analytical hierarchy process (AHP), pemeliharaan, strategi pemeliharaan

How to Cite:

Sitinjak, F.R. and Silalahi, F.T.R. (2023) 'Analisis strategi pemeliharaan preventive maintenance excavator menggunakan pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Analisis Sensitivitas', *Journal of Integrated System*, 6(2), pp. 226–242. Available at: <https://doi.org/10.28932/jis.v6i2.7633>.

© 2023 Journal of Integrated System. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. 

Abstract

PT Toba Pulp Lestari, Tbk is an industrial pulp producer that has developed rapidly in recent years. This means that the use of production equipment is also increasing. Excavators are one of the important production tools for PT TPL to be used for pre-bunching, extraction, wood stripping and loading activities. Companies need proper maintenance on excavators to improve performance and avoid damage because excavators still experience damage 3 – 4 times a month. Therefore, this research aims to be able to determine the selection of preventive maintenance strategies for excavators that are right on target so that they can minimize damage, maintain the reliability of the excavator, and provide optimal maintenance. The research methods used are Analytical Hierarchy Process (AHP) and Sensitivity Analysis. The results obtained from the AHP method are that the safety criterion has the greatest priority weight, namely 0.317, and the alternative that has the greatest priority weight is periodic maintenance with a weight of 0.577. This is followed by condition-based maintenance of 0.212 and finally repair maintenance (scheduled overhaul) of 0.211. Furthermore, in the Sensitivity Analysis method, there are two criteria that are sensitive to changes in weight, namely Safety criteria and Quality criteria. The periodic maintenance strategy has the greatest weight, so it was chosen as the most appropriate strategy to use for optimal maintenance and is expected to be an effective solution so as to successfully reduce damage and maintain the reliability of the excavator.

Keywords: analytical hierarchy process (AHP), maintenance, maintenance strategy, sensitivity analysis

1. Pendahuluan

Di era persaingan yang tinggi, perusahaan memutuskan untuk bersaing di pasar berdasarkan berbagai prioritas seperti biaya, kualitas, fleksibilitas, dan lain-lain. Salah satu faktor yang dapat meningkatkan keberhasilan suatu industri yaitu kelancaran proses produksi. Apabila proses produksi lancar, maka diharapkan mampu menghasilkan produk yang berkualitas dan dengan waktu yang sesuai. Proses tersebut tergantung dari kondisi sumber daya yang dimiliki seperti manusia, mesin, alat berat ataupun sarana penunjang lainnya. Kondisi siap pakai dari mesin dan alat berat dapat dijaga dan ditingkatkan dengan diterapkannya pemeliharaan yang tepat (Dewi dan Rinawati, 2015).

Pemeliharaan (*maintenance*) merupakan seluruh rangkaian kegiatan yang dilakukan untuk menjaga sistem dan semua komponennya bekerja sesuai dengan yang seharusnya (Stephens, 2010). Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk mengatur kapabilitas dari sistem sembari mengontrol biaya (Stephens, 2010). Pemeliharaan memiliki pengertian secara umum, yaitu menjaga, mempertahankan, dan melindungi. Pemeliharaan dimaksudkan untuk memastikan agar suatu sistem atau peralatan dapat kembali dalam kondisi atau fungsi semula. Selain itu, pemeliharaan memainkan peran penting dalam menjaga ketersediaan dan keandalan pada tingkat yang diminta, menjaga kualitas produk, dan mematuhi persyaratan keselamatan. Oleh karena itu, banyak perusahaan mengembangkan atau menerapkan berbagai macam strategi pemeliharaan tergantung pada jenis industri yang mereka geluti, *output* produk atau peralatan yang digunakan, proses yang terlibat, kondisi operasional dan lain-lain.

PT. Toba Pulp Lestari, Tbk (PT TPL) adalah perusahaan produsen bubur kertas (*pulp*) serta melaksanakan dan mengembangkan konsesi industri kehutanan sebagai bahan baku bubur kertas (TPL, 2023). Salah satu alat berat yang memiliki kegunaan yang sangat penting bagi perusahaan adalah *Excavator*. *Excavator* merupakan salah satu alat produksi yang penting bagi PT TPL untuk digunakan untuk kegiatan *pre bunching* yaitu pengumpulan pohon-pohon yang telah ditebang dikumpulkan menjadi beberapa tumpukan, *extraction* yaitu kegiatan yang dilakukan untuk mengangkut kayu dari jalur tebangan yang telah dikumpulkan menuju ke tempat pengumpulan kayu, pengupasan kayu dan pemuatan. Tujuan penggunaan *excavator* selain untuk meringankan pekerjaan yang sulit dan dapat meminimalkan waktu pengerjaan sehingga dapat

menghemat waktu. Alat berat ini memiliki tingkat keandalan dimana semua komponen atau sistem akan berfungsi secara efektif sesuai tujuannya dalam jangka waktu tertentu.

Strategi pemeliharaan yang dilakukan oleh PT Toba Pulp Lestarisat ini adalah *preventive maintenance*, yaitu kegiatan prematur yang mengganti komponen atau peralatan sebelum cacat terjadi untuk menghindari kegagalan yang tidak terjadwal. Namun seringkali perawatan tersebut tidak dijalankan sesuai dengan prosedur yang seharusnya. Kerusakan pada *excavator* masih sering terjadi. Menurut karyawan dari divisi operasional bagian alat berat, kerusakan pada *excavator* dapat terjadi 3 sampai 4 kali dalam sebulan. Kerusakan yang terjadi berbeda-beda sesuai dengan jenisnya atau bagian dari mesin *excavator*, misalnya *hose hydraulic* atau *engine overheat*, *radiator bocor*. Kerusakan tersebut dapat terjadi dikarenakan *excavator* digunakan pada medan dan beban yang berat serta waktu pemakaian yang tidak sesuai dengan pemeliharaannya, pemeliharaan yang tidak dilakukan secara rutin dan konsisten sesuai dengan jadwalnya serta kerusakan yang terjadi juga disebabkan oleh operator atau mekanik yang tidak serius atau kurang memperhatikan kondisi *excavator* dalam melakukan pemeliharaan. Akibat dari kerusakan itu, *excavator* menjadi tidak dapat digunakan, sehingga dapat menghambat pekerjaan yang akan dilakukan dan juga dapat mengulur waktu pengerjaan. Tentunya hal tersebut akan berdampak negatif bagi perusahaan baik dari segi waktu atau pun biaya yang harus dikeluarkan. Adapun mesin pada *excavator* yang sering terjadi kerusakan adalah pada bagian *Hose hydraulic* dimana kerusakan tersebut disebabkan oleh pemakaiannya yang lama, kemudian pada bagian *engine* yaitu *engine overheat* dimana kerusakan tersebut disebabkan oleh kehabisan air pendingin dan juga karena kehabisan *oil engine*. Masalah kehabisan air pendingin dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu radiator yang bocor, selang radiator yang rusak, dan dapat terjadi karena kelalaian operator yang melakukan pengecekan air radiator. Masalah kehabisan *oil engine* dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu *gasket carts* dan *oil pump* yang bocor dan juga *cooling system* yang rusak atau abnormal. Oleh karena itu, perencanaan pemeliharaan mesin haruslah tepat sasaran agar tercapainya hasil yang optimal. Selain itu, kemampuan untuk menerapkan kebijakan perawatan juga dapat mempengaruhi kegiatan yang dilaksanakan sebagai bagian dari strategi pemeliharaan mesin sehingga suatu pendekatan yang dapat mengidentifikasi permasalahan dan menemukan solusi yang sesuai untuk mengatasinya sangatlah penting.

Penelitian terdahulu yang menggunakan metode AHP dan Analisis Sensitivitas sudah dilakukan. Chang *et al.* (2007) menggunakan metode AHP dan analisis sensitivitas untuk menentukan alat pengiris. Berikutnya, Maletić *et al.* (2014) menggunakan metode AHP dan analisis sensitivitas untuk menentukan kebijakan perawatan mesin. Namun mesin yang dianalisis pada penelitian ini adalah mesin kertas, Sejauh pengamatan penulis, penelitian untuk melakukan pemilihan pemeliharaan yang sesuai untuk pemeliharaan *excavator* dengan menggunakan metode AHP dan analisis sensitivitas masih terbatas. Hal ini menjadi kebaharuan dari penelitian ini. Penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dilanjutkan dengan Analisis Sensitivitas. *Analytical Hierarchy Process* dilakukan dalam rangka pemilihan strategi perawatan mesin yang sesuai. Pemilihan dilakukan berdasarkan kriteria tertentu. Analisis sensitivitas dilakukan untuk melihat seberapa sensitif bobot dari setiap indikator mempengaruhi hasil penelitian. Adapun langkah-langkah yang dilakukan meliputi penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian, menentukan kriteria, subkriteria dan membuat alternatif keputusan, melakukan perbandingan berpasangan dengan menghitung bobot prioritas, menghitung nilai *consistency ratio*, dan menghitung bobot alternatif untuk pengambilan keputusan. Setelah itu, metode Analisis Sensitivitas, digunakan untuk memperkuat keakuratan hasil pembobotan yang telah diolah menggunakan metode AHP. Analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui perubahan pada setiap kriteria yang mempengaruhi alternatif jika dilakukan perubahan pada bobotnya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Manajemen Pemeliharaan

Manajemen pemeliharaan didefinisikan sebagai suatu sistem memiliki beberapa elemen seperti fasilitas, penggantian komponen atau material, biaya pemeliharaan, perencanaan kegiatan pemeliharaan, dan eksekutor pemeliharaan. Elemen tersebut saling terkait dan saling berinteraksi dalam kegiatan pemeliharaan di industri (Ansori dan Mustajib, 2013). Manajemen pemeliharaan mencakup berbagai kegiatan manajemen yang meliputi penetapan tujuan, prioritas, strategi, tanggung jawab, serta implementasi dalam bentuk perencanaan pemeliharaan, pengawasan, dan peningkatan metode, termasuk aspek ekonomis dalam organisasi (Corder, 1996). Lebih lanjut, Al-Najjar dan Alsyouf (2003) mengatakan bahwa strategi pemeliharaan terdiri dari identifikasi, penelitian, dan pelaksanaan berbagai macam keputusan yang terkait dengan perbaikan, penggantian, maupun inspeksi kondisi peralatan atau aset.

2.2 Pemeliharaan

Pemeliharaan dapat diartikan sebagai tindakan ataupun upaya yang dilakukan dalam menjaga performa mesin tetap sama seperti performa pada saat masih baru. Pemeliharaan juga diartikan sebagai kegiatan yang dilakukan dalam mencegah timbulnya kerusakan tidak normal, mempertahankan kondisi mesin atau mengembalikannya ke dalam kondisi tertentu. Ada 2 macam pemeliharaan yaitu pemeliharaan pencegahan dan pemeliharaan kerusakan (Duffuaa *et al.*, 1999). Pemeliharaan pencegahan merupakan pelaksanaan inspeksi rutin, perbaikan dan penjagaan tempat fasilitas dengan cara melaksanakan perawatan yang tepat, sedangkan pemeliharaan kerusakan merupakan pemeliharaan yang dilakukan ketika terjadi kegagalan atau kerusakan dan diperbaiki berdasarkan keadaan darurat atau yang diprioritaskan.

2.3 Pemeliharaan Excavator

Excavator atau biasa disebut dengan *backhoe* merupakan alat berat yang sangat efektif dalam melakukan pekerjaan seperti penggalian, pembongkaran, atau pengangkatan material seperti tanah, batu, kerikil, kayu, atau material lainnya dengan bentuk seperti yang terlihat pada Gambar 1. *Excavator* bekerja dengan menggunakan tenaga hidrolik yang sangat kuat dan efisien, sehingga dapat mengangkat dan memindahkan material yang berat dan besar dengan mudah. Alat ini juga memiliki kemampuan untuk bergerak ke berbagai arah (360 derajat) (KEMENPERIN, 2017), sehingga sangat fleksibel dalam menangani berbagai jenis pekerjaan seperti pekerjaan penggalian di bawah permukaan, penggalian material keras dan pemotongan kayu.

Gambar 1. Excavator Sedang Perbaikan



Sumber: PT Toba Pulp Lestari, Tbk

Deskripsi *excavator* terdiri dari beberapa bagian utama, diantaranya:

1. *Undercarriage*: merupakan bagian bawah *excavator* yang terdiri dari roda atau track. *Undercarriage* ini berfungsi sebagai penopang berat *excavator* dan membantu alat ini bergerak ke berbagai arah.

2. *Upper Structure*: merupakan bagian atas *excavator* yang berisi mesin, penggerak hidrolis, kabin operator, dan *bucket arm*. *Upper Structure* ini berfungsi sebagai pusat pengendalian dan menggerakkan seluruh bagian dari *excavator*.
3. *Bucket Arm*: merupakan lengan bergerak yang terdapat pada *excavator*. *Bucket arm* ini berfungsi sebagai alat untuk menggali, mengangkat, atau memindahkan material dari satu tempat ke tempat lainnya.
4. *Bucket*: merupakan alat gali yang terdapat pada ujung *bucket arm*. *Bucket* ini berfungsi untuk menggali material dan mengangkat material yang telah digali.
5. *Operator Cab*: operator cab dilengkapi dengan berbagai kontrol dan alat bantu yang memungkinkan operator untuk menggerakkan dan mengendalikan *excavator*.

2.4 Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Preventive maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal untuk menjaga peralatan tetap berfungsi sebelum peralatan menjadi rusak (Smith dan Hinchcliffe, 2004). Tujuan dari *preventive maintenance* adalah untuk mengurangi frekuensi kerusakan dari barang yang dipelihara. Strategi ini berkontribusi untuk meminimalkan biaya kerusakan mesin dan meningkatkan kualitas produksi (Ahmad dan Kamaruddin, 2012). Dengan demikian, fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan preventif akan terjamin kelancaran kerja serta kondisi yang siap digunakan pada proses produksi.

2.4.1 Perawatan Berkala (*Periodic Maintenance*)

Perawatan berkala (*periodic maintenance*) atau yang disebut juga sebagai *time-based maintenance* adalah teknik pemeliharaan tradisional (Ahmad dan Kamaruddin, 2012). Perawatan berkala adalah jenis perawatan atau pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal atau berkala pada suatu objek atau sistem untuk menjaga kinerja suatu objek atau sistem agar tetap dalam kondisi yang baik dan mencegah kerusakan serta dan agar dapat berfungsi secara optimal. Perawatan berkala juga dapat diartikan sebagai proses pemeliharaan dengan selang waktu tertentu setelah alat digunakan untuk operasi. Perawatan berkala mengasumsikan bahwa perilaku kerusakan dari peralatan adalah dapat diprediksi (Ahmad dan Kamaruddin, 2012).

2.4.2 Perawatan Perbaikan (*Schedule Overhaul*)

Perawatan perbaikan adalah perawatan yang dilakukan dengan jangka waktu tertentu yang menyesuaikan dengan standar dari *overhaul* setiap komponen pada alat. Perawatan perbaikan juga dapat diartikan sebagai jenis perawatan yang dilakukan pada suatu objek atau sistem dengan cara melakukan pemeliharaan yang lebih menyeluruh atau bahkan melakukan penggantian komponen atau bagian-bagian tertentu secara terjadwal atau berkala (Purwono, 2016). *Schedule Overhaul* dilaksanakan untuk merekonstruksi unit atau komponen agar kembali pada kondisi standar *factory*. Jeda waktu yang ditentukan akan dipengaruhi oleh kondisi yang bermacam-macam seperti kondisi operasi alat, ketepatan pelaksanaan perawatan secara berkala, keahlian operator dan lain-lain. *Overhaul* dilakukan dengan penjadwalan tanpa perlu menunggu alat atau komponen tersebut timbul gejala kerusakan atau sampai tidak dapat digunakan sama sekali (Pranowo, 2019). Jenis perawatan ini biasanya dilakukan setelah suatu objek atau sistem telah digunakan untuk jangka waktu tertentu. Perawatan perbaikan dilakukan oleh teknisi yang ahli dan berpengalaman, yang akan melakukan pemeriksaan menyeluruh pada objek atau sistem yang akan diperbaiki. Teknisi ini akan memeriksa semua komponen atau bagian yang ada pada objek atau sistem tersebut, dan melakukan penggantian jika diperlukan. Tujuan dari perawatan perbaikan ini adalah untuk memastikan bahwa objek atau sistem tersebut tetap berfungsi dengan baik, mengurangi risiko kerusakan atau kegagalan, serta memperpanjang masa pakai dari objek atau sistem tersebut.

2.4.3 Perawatan Berbasis Kondisi (*Condition-Based Maintenance*)

Condition-based maintenance, atau disebut juga sebagai *predictive maintenance* adalah teknik pemeliharaan yang modern dan populer (Ahmad dan Kamaruddin, 2012). CBM adalah perawatan yang merekomendasikan pemeliharaan berdasarkan informasi yang dikumpulkan melalui proses monitoring. Beberapa sistem pemeliharaan yang dilakukan adalah *vibration monitoring*, *sound or acoustic monitoring* dan *oil-analysis or lubricant monitoring*. *Vibration monitoring* adalah pemeliharaan yang sering dipakai khususnya pada peralatan yang berotasi (Carnero, 2005). Pada *vibration monitoring* dilakukan pemeriksaan kesehatan peralatan dengan bantuan alat khusus seperti sensor getaran untuk mengidentifikasi perubahan yang mungkin mengindikasikan kerusakan atau gradasi. Berikutnya, *sound or acoustic monitoring* adalah perawatan yang dilakukan dengan menggunakan sensor untuk mendengar kerusakan yang ada pada peralatan. *Lubricant monitoring* adalah pemeriksaan oli dengan cara mengevaluasi kondisi oli untuk menentukan apakah oli tersebut masih dapat digunakan untuk selanjutnya (Ahmad dan Kamaruddin, 2012). Pada saat yang sama, hasil dari analisis *lubricant monitoring* dapat menunjukkan kondisi dari komponen internal, seperti *engine shafts*. Contohnya untuk minyak pelumas yang diambil akan dianalisa di laboratorium untuk mengetahui jenis serta kadar logam yang terdapat didalam minyak pelumas tersebut, sehingga dapat diketahui kemungkinan kerusakan yang akan terjadi seperti keausan yang tidak wajar pada *bearing*, *sleeve*, *piston*, *crankshaft*, *hydraulic pump* atau *valve*. Selain itu, masih ada teknik perawatan berbasis kondisi lainnya termasuk monitoring listrik, temperatur dan kondisi fisik peralatan.

2.5 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan suatu model pendukung keputusan dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model ini akan menguraikan masalah multi kriteria yang kompleks menjadi struktur hierarki (Saaty, 2001) dengan hierarki adalah representasi dari permasalahan yang kompleks ke dalam struktur multi-level. Hirarki merupakan representasi dari masalah yang kompleks dengan beberapa level, dengan level pertama adalah tujuan, kemudian level faktor, kriteria, subkriteria dan level terakhir yaitu alternatif. Dengan demikian dapat diperoleh tingkat kepentingan dari setiap elemen di setiap tingkat. Berikut adalah beberapa kelebihan penggunaan metode AHP dalam pengambilan keputusan (Saaty dan Vargas, 2012).

- Membantu memecahkan masalah kompleks yang strukturnya tidak beraturan
- Proses pengambilan keputusan tidak terpengaruh data kuantitatif yang kurang lengkap dikarenakan penilaian adalah hasil pemikiran sudut pandang responden
- Penilaian dan pengukuran elemen lebih mudah karena metode ini disesuaikan dengan kemampuan dasar manusia dalam menilai suatu hal

Pada metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, setiap alternatif diukur berdasarkan beberapa kriteria yang telah ditentukan. Kriteria dapat berupa kualitas, biaya dan sebagainya yang tergantung pada konteks dan tujuan dari pengambilan keputusan. Setiap kriteria diberi bobot relatif yang menunjukkan pentingnya kriteria tersebut dalam pengambilan keputusan. Metode ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk manajemen bisnis, pengembangan produk, perencanaan strategis, dan kebijakan publik.

Langkah-langkah dalam AHP mengikuti prosedur yang ada pada Mu dan Pereyra-Rojas (2016). Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Bentuk model keputusan dengan membuat masalah keputusan dalam struktur hierarki yang terdiri dari tujuan, kriteria, subkriteria dan alternatif
2. Lakukan pengambilan data perbandingan berpasangan dari responden, untuk membandingkan tingkat kepentingan antar kriteria, tingkat kepentingan antar subkriteria dalam suatu kriteria, dan tingkat kepentingan setiap alternatif dalam setiap subkriteria.

Pemberian bobot dilakukan dengan mengikuti skala perbandingan berpasangan dari Saaty seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala perbandingan berpasangan Saaty

Verbal judgment	Numeric value
Extremely important	9
	8
Very Strongly more important	7
	6
Strongly more important	5
	4
Moderately more important	3
	2
Equally important	1

3. Tentukan bobot prioritas untuk kriteria dan subkriteria dengan menggunakan perbandingan berpasangan mengikuti skala perbandingan berpasangan Saaty. Lalu dilakukan pemeriksaan konsistensi dari judgement yang diberikan oleh responden untuk menjamin kekonsistenan dalam memberikan bobot. Rumus yang dapat digunakan untuk menguji konsistensi sebagai berikut:

$$CI = \frac{c_{maks-n}}{n-1} \tag{1}$$

Tabel 2 menunjukkan nilai *random index* (RI).

Tabel 2. Nilai Ketetapan RI (*Random Index*)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,34	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

4. Tentukan prioritas lokal dan prioritas global dari alternatif. Alternatif dengan prioritas tertinggi menjadi pilihan yang terbaik
5. Lakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui bagaimana perubahan pada bobot kriteria akan mempengaruhi hasil akhir unruk memahami rasional dari keputusan yang diambil.

2.6 Analisis Sensitivitas

Setelah melalui proses perhitungan AHP, tahap terakhir dalam pengolahan data penelitian ini adalah melakukan analisis sensitivitas. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memastikan sejauh mana model yang digunakan bergantung pada faktor inputnya (Dogan, 2021, Borgonovo, 2023) Dalam kasus ini, faktor input yang coba diubah adalah bobot dari kriteria sehingga dapat dilihat seberapa besar perubahannya pada hasil urutan alternatif terbaik berdasarkan perhitungan AHP. Metode analisis sensitivitas mengacu pada perubahan bobot, dimana bobot berubah berdasarkan nilai *unitary variation ratio* sehingga ketika nilai satu bobot kriteria berubah maka bobot kriteria yang lainnya akan menyesuaikan sehingga tetap berjumlah. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$K = \frac{\beta_k - \beta_{kvk}}{1 - \beta_{kvk}} \tag{2}$$

Dalam Li *et al.* (2013) membuat 14 parameter skema untuk penilaiannya yaitu $\beta = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, \text{ dan } 4.5$. Setelah itu langkah selanjutnya menghitung kembali bobot prioritas dari perhitungan AHP.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

3.1.1 Identifikasi Kriteria dan Subkriteria

Dalam melakukan pemilihan pemeliharaan, diperlukan kriteria yang dapat mencerminkan strategi pemeliharaan yang baik bagi perusahaan. (Justin, 2021) telah mengidentifikasi kriteria-kriteria yang digunakan untuk memilih pemeliharaan seperti yang tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria pemeliharaan

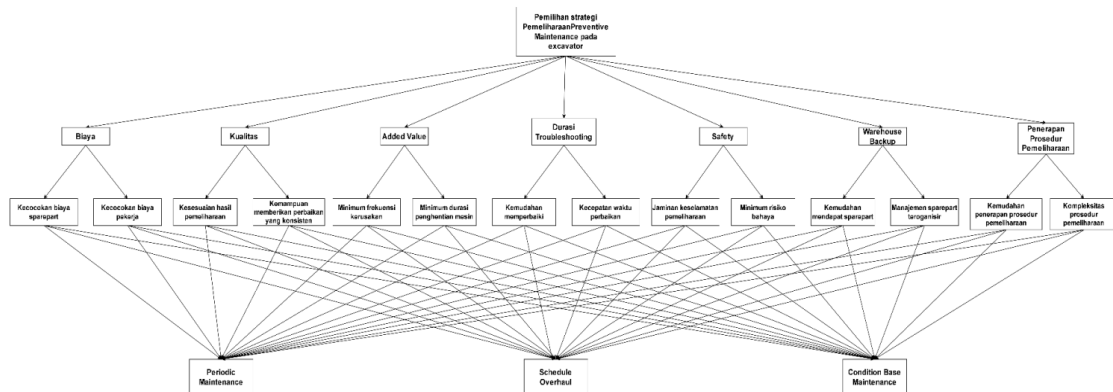
No	Kriteria
1	<i>Safety</i>
2	<i>Implementation cost</i>
3	<i>Added Value</i>
4	<i>Implantation capability</i>
5	<i>Maintenance performance</i>
6	<i>Stock and material management</i>
7	<i>Support system integration</i>

Sumber: (Justin, 2021)

Setelah melakukan diskusi terhadap pihak perusahaan yaitu kepada responden, kriteria *implementation cost*, *safety*, *added value*, *stock and material management* yang merupakan kriteria yang dianggap penting untuk dapat dipertimbangkan oleh perusahaan dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventivemaintenance* pada *excavator*. Untuk kriteria *implementation cost* responden menyarankan menjadi kriteria biaya dan *stock and material management* menjadi *warehouse backup*. Dan ada kriteria tambahan yang menurut perusahaan dipertimbangkan saat pemilihan strategi pemeliharaan yaitu kriteria kualitas, durasi *troubleshooting* dan penerapan prosedur pemeliharaan. Sehingga setelah melakukan identifikasi kriteria dan subkriteria yang dianggap penting oleh perusahaan dalam menentukan strategi pemeliharaan, penulis dan responden yaitu pihak perusahaan sepakat untuk menetapkan kriteria biaya, *safety*, kualitas, *added value*, durasi *troubleshooting*, *warehouse backup* dan penerapan prosedur pemeliharaan sebagai kriteria dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator*. Untuk subkriteria merupakan hasil diskusi bersama responden. Kriteria dan subkriteria pemeliharaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 berikut. Oleh karena itu, struktur hierarki dalam masalah pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* di PT. TPL ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 4. Kriteria dan subkriteria pemeliharaan

Kriteria	Subkriteria	Kriteria	Subkriteria
Biaya	Kecocokan biaya <i>sparepart</i>	<i>Safety</i>	Jaminan keselamatan pemeliharaan
	Kecocokan biaya pekerja		Minimum risiko bahaya
Kualitas	Kesesuaian hasil pemeliharaan	<i>Warehouse Backup</i>	Kemudahan mendapat <i>sparepart</i>
	Kemampuan memberikan perbaikan yang konsisten		Manajemen <i>sparepart</i> terorganisir
<i>Added Value</i>	Minimum frekuensi kerusakan	Penerapan prosedur pemeliharaan	Kemudahan penerapan prosedur pemeliharaan
	Minimum durasi penghentian mesin		Kompleksitas prosedur pemeliharaan
Durasi <i>Trouble-shooting</i>	Kemudahan memperbaiki		
	Kecepatan waktu perbaikan		



Gambar 2. Struktur hirarki pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator*

3.1.2 Pengolahan Data Kriteria

Dalam penelitian yang dilakukan serta menetapkan tujuh kriteria yang digunakan dalam penelitian ini, maka berdasarkan hasil penyebaran kuesioner yang telah dilakukan kepada 5 responden departemen *woodyard* didapat hasil sebagai berikut serta didapatkan consistency ratio nya. Jika nilai *consistency ratio* (CR) < 0,1, maka perbandingan tersebut di anggap konsisten. Namun, jika nilai CR melebihi 0,1, maka perbandingan berpasangan harus diulang. Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh bobot untuk setiap kriteria dan nilai *consistency ratio* seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Bobot prioritas kriteria

Kriteria	Bobot Prioritas	CR
Biaya	0,099	0,050
Safety	0,317	
Added Value	0,064	
Kualitas	0,188	
Durasi <i>Trouble Shooting</i>	0,092	
Warehouse Backup	0,113	
Penerapan Prosedur Pemeliharaan	0,128	

Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa kriteria yang paling mempengaruhi dalam pemilihan pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* adalah kriteria *safety* dengan bobot tertinggi sebesar 0,317. Selanjutnya terdapat kriteria kualitas yang menjadi urutan kedua dalam mempengaruhi pemilihan pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* yaitu dengan bobot sebesar 0,188. Dalam perhitungan bobot kriteria tersebut juga didapatkan nilai CR (*consistency ratio*) yaitu sebesar 0,050. Dengan demikian, data tersebut telah konsisten atau valid karena nilai CR > 0,1.

3.1.3 Pengolahan Data Subkriteria

Analisis subkriteria secara keseluruhan dapat diperoleh melalui hasil pengolahan data subkriteria dari masing-masing kriteria. Dengan demikian, Tabel 6 menunjukkan rincian subkriteria secara keseluruhan. Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa dari 14 subkriteria yang diperoleh dari masing-masing kriteria, terdapat bahwa yang mempengaruhi responden dalam memilih pemeliharaan *excavator* yaitu subkriteria jaminan keselamatan dengan bobot sebesar 0,857.

Tabel 6. Bobot prioritas subkriteria

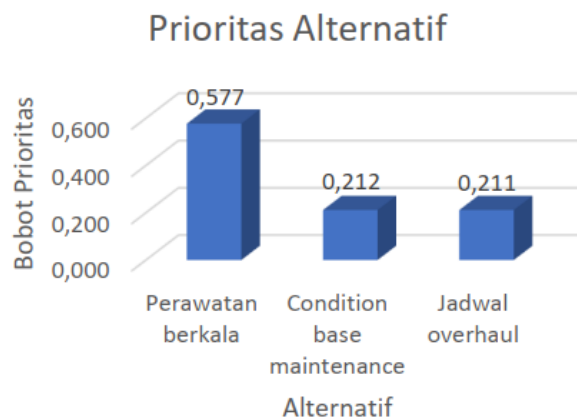
Subkriteria	Bobot
Jaminan keselamatan	0,857
Minimum frekuensi kerusakan	0,796
Manajemen <i>sparepart</i> terorganisir	0,727
Kemampuan memberikan perbaikan yang konsisten	0,682
Kemudahan memperbaiki	0,622
Kemudahan penerapan prosedur Pemeliharaan	0,616
Kecocokan biaya <i>sparepart</i>	0,580
Kecocokan biaya pekerja	0,420
Kompleksitas prosedur Pemeliharaan	0,384
Kecepatan waktu perbaikan	0,378
Kesesuaian hasil pemeliharaan	0,318
Kemudahan mendapat <i>sparepart</i>	0,273
Minimum durasi penghentian mesin	0,204
Minimum risiko bahaya	0,143

3.1.4 Pengolahan Data Alternatif

Selanjutnya, didapatkan urutan prioritas alternatif pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui urutan prioritas alternatif pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dari yang tertinggi hingga terendah secara berturut-turut yaitu dengan urutan pertama adalah Perawatan Berkala (*Periodic Maintenance*) sebesar 0,577, lalu diikuti dengan Perawatan Berbasis Kondisi (*Condition Based Maintenance*) sebesar 0,212 dan yang terakhir adalah Perawatan Perbaikan (*Schedule Overhaul*) sebesar 0,211. Sehingga dengan adanya pemeliharaan yang diprioritaskan, maka dapat mengurangi tingkat kerusakan pada *excavator* dan diharapkan mampu meningkatkan performa mesin yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan oleh perusahaan serta dapat memberikan pemeliharaan yang optimal pada *excavator*.

Tabel 7. Bobot prioritas alternatif

Alternatif	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	Prioritas
A1	0,031	0,022	0,132	0,026	0,036	0,009	0,039	0,066	0,041	0,024	0,021	0,054	0,049	0,028	0,577
A2	0,012	0,009	0,067	0,010	0,008	0,002	0,009	0,038	0,010	0,004	0,005	0,010	0,018	0,009	0,211
A3	0,015	0,011	0,072	0,009	0,006	0,002	0,012	0,024	0,007	0,007	0,005	0,017	0,012	0,013	0,212



Gambar 3. Grafik prioritas alternatif

3.2 Analisis Sensitivitas

Setelah melakukan perhitungan AHP, langkah berikutnya adalah melakukan analisis sensitivitas dengan mengubah bobot pada setiap kriteria. Dalam penelitian ini, faktor input yang akan diubah adalah nilai bobot dari masing-masing kriteria yang digunakan, sehingga dapat dilihat seberapa besar dampak atau perubahannya pada hasil urutan alternatif terbaik yang didapat melalui perhitungan AHP. Metode analisis sensitivitas yang dilakukan merujuk pada analisis sensitivitas oleh Li *et al.* (2013) dimana perubahan bobot berdasarkan *unitary variation ratio* sehingga ketika satu nilai bobot kriteria berubah maka nilai bobot kriteria yang lainnya akan menyesuaikan atas perubahan nilai bobot kriteria tersebut. Penelitian ini menggunakan nilai (β) 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, dan 2,5. Tabel 9 menunjukkan contoh perhitungan analisis sensitivitas perubahan bobot pada kriteria biaya.

Tabel 8 memaparkan bahwa terjadinya perubahan bobot pada kriteria biaya ketikad ilakukan analisis sensitivitas. Bobot awal kriteria biaya diolah menggunakan 10 parameter scema untuk penilaiannya, yaitu dengan $\beta = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5$. Bobot awal kriteria biaya adalah 0,099 dan pada saat menggunakan β 0,01 bobot kriteria mengalami perubahan yaitu menjadi 0,001. Pada saat menggunakan β 0,02 bobot kriteria mengalami perubahan yaitu menjadi 0,002, pada saat menggunakan β 0,05 bobot kriteria mengalami perubahan yaitu menjadi 0,005, dan pada saat menggunakan β 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 juga mengalami perubahan secara berturut-turut menjadi 0,010, 0,020, 0,049, 0,099, 0,148, 0,198, 0,247.

Setelah mengubah semua nilai kriteria, langkah selanjutnya adalah mencari tahu apakah ada perubahan yang signifikan ketika nilai kriterianya berbeda. Jika terdapat perubahan yang signifikan pada urutan alternatif, maka kriteria tersebut dapat dianggap sensitif. Perhitungan alternatif menggunakan analisis sensitivitas yang setiap bobot kriteria dan setiap bobot subkriteria sudah dimodifikasi dengan nilai β yaitu 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5. Tabel 8 menunjukkan contoh perhitungan alternatif menggunakan analisis sensitivitas kriteria biaya 0,01.

Tabel 9 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria biaya 0,01 adalah perawatan berkala dengan bobot sebesar 0,094. Kemudian untuk alternatif perawatan perbaikan dan perawatan berbasis kondisi memiliki nilai yang sama yaitu sebesar 0,043.

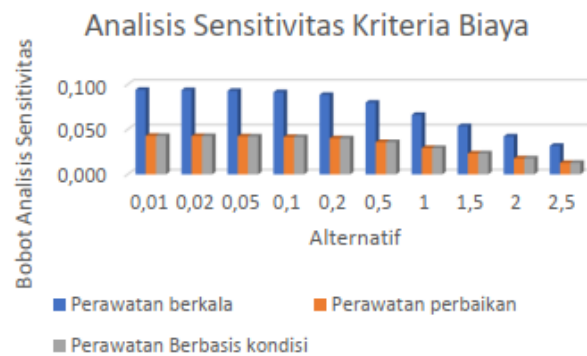
Tabel 8. Perhitungan analisis sensitivitas kriteria biaya

B		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	2,5
		yk									
Kriteria	Bobot awal	0,009	0,018	0,045	0,091	0,184	0,474	1,000	1,587	2,247	2,993
Biaya	0,099	0,001	0,002	0,005	0,010	0,020	0,049	0,099	0,148	0,198	0,247
Safety	0,317	0,351	0,351	0,350	0,348	0,345	0,334	0,317	0,300	0,282	0,265
added value	0,064	0,071	0,070	0,070	0,070	0,069	0,067	0,064	0,060	0,057	0,053
kualitas	0,188	0,208	0,208	0,207	0,206	0,204	0,198	0,188	0,177	0,167	0,157
durasi trouble shooting	0,092	0,102	0,102	0,102	0,101	0,100	0,097	0,092	0,087	0,082	0,077
warehouse backup	0,113	0,125	0,125	0,124	0,124	0,122	0,119	0,113	0,106	0,100	0,094
penerapan prosedur pemeliharaan	0,128	0,142	0,142	0,142	0,141	0,140	0,135	0,128	0,121	0,114	0,107

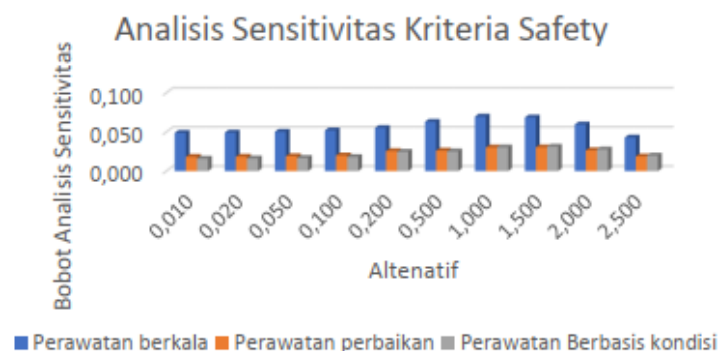
Gambar 4 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria biaya menggunakan β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan berkala. Kemudian untuk alternatif perawatan perbaikan dan perawatan berbasis kondisi memiliki nilai yang sama. Gambar 5 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria *safety* menggunakan β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, adalah perawatan berkala. Selanjutnya prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5 adalah perawatan perbaikan. Dan prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan berbasis kondisi. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya pada saat β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, kriteria *safety* mengalami perubahan urutan alternatif. Untuk itu, kriteria *safety* harus lebih diprioritaskan karena kriteria *safety* termasuk kriteria yang sensitif.

Tabel 9. Analisis sensitivitas kriteria biaya 0,01

Attribute Weight	Biaya		Safety		Added value		Kualitas		Durasi trouble-shooting		Warehouse backup		Penerapan prosedur pemeliharaan		Alt. Weight Evaluation
	B1	B2	K1	K2	A1	A2	D1	D2	S1	S2	W1	W2	P1	P2	
	0,001		0,351		0,071		0,208		0,102		0,125		0,142		
	0,643	0,466	1,251	0,208	0,849	0,218	0,391	0,837	0,684	0,412	0,307	0,819	0,706	0,440	
	Alternatif														
Perawatan berkala	0,031	0,022	0,132	0,026	0,036	0,009	0,039	0,066	0,041	0,024	0,021	0,054	0,049	0,028	0,094
Perawatan perbaikan	0,012	0,009	0,067	0,010	0,008	0,002	0,009	0,038	0,010	0,004	0,005	0,010	0,018	0,009	0,043
Perawatan berbasis kondisi	0,015	0,011	0,072	0,009	0,006	0,002	0,012	0,025	0,007	0,007	0,005	0,017	0,012	0,013	0,043



Gambar 4. Grafik analisis sensitivitas kriteria biaya

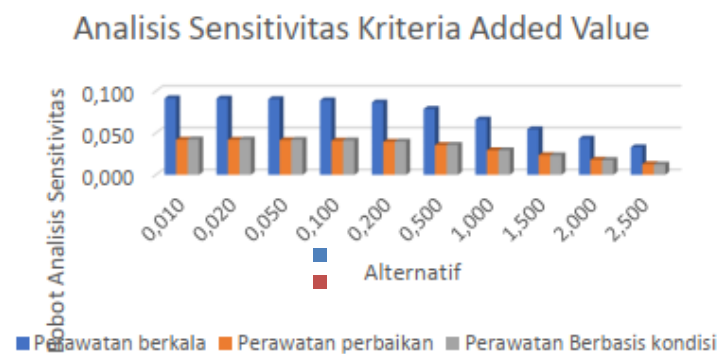


Gambar 5. Grafik analisis sensitivitas kriteria *safety*

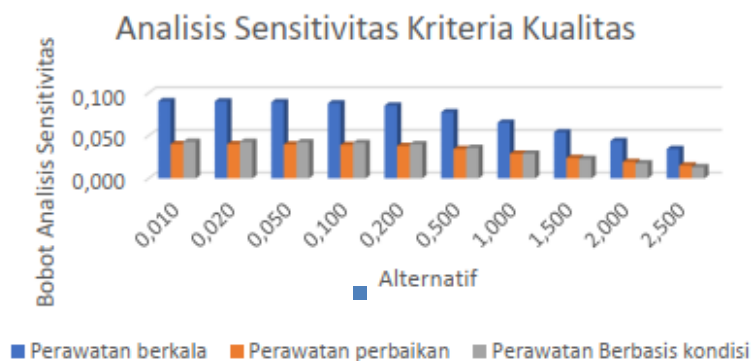
Gambar 6 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria *added value* menggunakan β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan berkala. Selanjutnya prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 0,05, 0,2, 0,5, 1 adalah perawatan berbasis kondisi. Dan prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 2,5 adalah perawatan perbaikan. Namun, pada β 0,01, 0,02, 0,1, 1,5, 2 memiliki nilai yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya kriteria *added value* harus dijaga pada β 2,5, karena akan mengalami perubahan urutan alternatif.

Gambar 7 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria kualitas menggunakan β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan berkala. Selanjutnya prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5 adalah perawatan berbasis kondisi. Dan prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan perbaikan. Namun, pada β 1 memiliki nilai yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya kriteria kualitas harus dijaga pada β 1,5, 2, 2,5, karena akan mengalami perubahan urutan alternatif.

Gambar 8 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria durasi *troubleshooting* menggunakan β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan berkala. Selanjutnya prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 0,01, 0,05, 0,1 adalah perawatan berbasis kondisi. Dan prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 2 adalah perawatan perbaikan. Namun, pada β 0,02, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,5 memiliki nilai yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya kriteria durasi *troubleshooting* harus dijaga pada β 0,02, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,5, karena akan mengalami perubahan urutan alternatif.



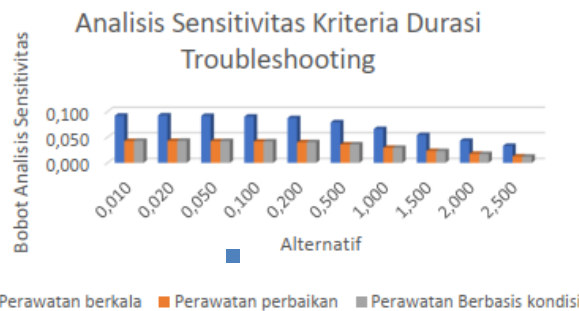
Gambar 6. Grafik analisis sensitivitas kriteria added value



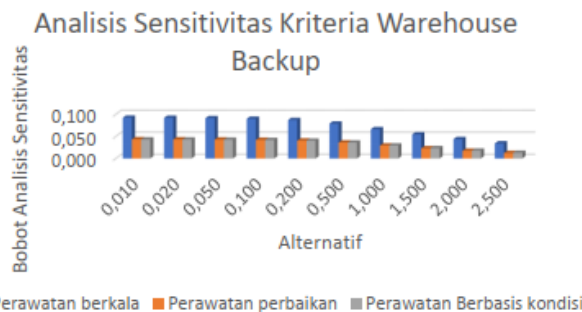
Gambar 7. Grafik analisis sensitivitas kriteria kualitas

Gambar 9 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria *warehouse backup* menggunakan β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan berkala. Selanjutnya prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 0,1, 2, 2,5 adalah perawatan berbasis kondisi. Dan prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 0,05 adalah perawatan perbaikan. Namun, pada β 0,01, 0,02, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5 memiliki nilai yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya kriteria *warehouse backup* harus dijaga pada β 0,02, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,5, karena akan mengalami perubahan urutan alternatif.

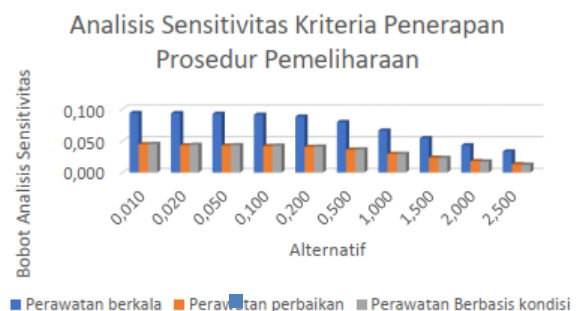
Gambar 10 menunjukkan alternatif prioritas tertinggi dalam pemilihan strategi pemeliharaan *preventive maintenance* pada *excavator* dengan kriteria penerapan prosedur pemeliharaan menggunakan β 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 adalah perawatan berkala. Selanjutnya prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 0,01, 0,02, 0,05, 0,2 adalah perawatan berbasis kondisi. Dan prioritas yang memiliki nilai tertinggi setelah perawatan berkala pada β 2, 2,5 adalah perawatan perbaikan. Namun, pada β 0,1, 0,2, 1, 1,5 memiliki nilai yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya kriteria penerapan prosedur pemeliharaan harus dijaga pada β 2, 2,5, karena akan mengalami perubahan urutan alternatif (Setiawan *et al.*, 2023).



Gambar 8. Grafik analisis sensitivitas kriteria durasi *troubleshooting*



Gambar 9. Grafik analisis sensitivitas kriteria *warehouse*



Gambar 10. Grafik analisis sensitivitas kriteria penerapan prosedur pemeliharaan

4. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian serta hasil penelitian diatas, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Terdapat tujuh kriteria dalam penelitian ini yaitu Biaya, *Safety*, *Added Value*, Kualitas, Durasi *Troubleshooting*, *Warehouse Backup*, dan Penerapan Prosedur Pemeliharaan. Berdasarkan perhitungan AHP terdapat nilai bobot prioritas dari setiap kriteria. Nilai bobotprioritas tertinggi menandakan kriteria tersebut memiliki tingkat kepentingan yang lebih besar. Dari perhitungan AHP nilai bobot prioritas dapat menentukan urutan kriteria dengan nilai kepentingan tertinggi dan terendah. Berikut merupakan urutan kriteria dari nilai yang tertinggi hingga yang terendah yaitu *Safety* dengan bobot sebesar 0,317, Kualitas sebesar 0,188, Penerapan Prosedur Pemeliharaan sebesar 0,128, *Warehouse Backup* sebesar 0,113, Biaya sebesar 0,099, Durasi *Troubleshooting* sebesar 0,092, dan *Added Value* sebesar 0,064.

Pada penelitian ini terdapat tiga alternatif yang menjadi strategi pemeliharaan yang akan digunakan oleh perusahaan PT Toba Pulp Lestari, Tbk. Berdasarkan hasil perhitungan AHP maka dapat ditentukan alternatif yang paling tepat dan dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemeliharaan *excavator* yaitu pemeliharaan Perawatan Berkala (*Periodic Maintenance*) dengan persentase tertinggi sebesar 58,70%, kemudian urutan kedua yaitu pemeliharaan perawatan berbasis kondisi (*Condition Base Maintenance*) dengan persentase sebesar 21,16%, dan urutan yang terakhir adalah pemeliharaan perawatan perbaikan (*Schedule Overhaul*) dengan persentase sebesar 21,14%. Dari nilai bobot yang didapat, maka dapat diketahui bahwasannya pemeliharaan perawatan berkala (*Periodic Maintenance*) adalah alternatif yang paling sesuai untuk dilakukan pemeliharaan pada *excavator*.

Pada analisis sensitivitas didapatkan 2 kriteria yang dianggap sensitif terhadap perubahan bobot yang menyebabkan terjadinya perubahan urutan alternatif yaitu kriteria *Safety* dan kriteria Kualitas. Setelah diolah menggunakan metode Analisis Sensitivitas didapatkan urutan alternatif tertinggi yaitu alternatif Perawatan Berkala. Namun didapatkan 2 kriteria yang berpengaruh terhadap perubahan urutan alternatif yaitu kriteria *Safety* dan kriteria kualitas. Kriteria *Safety* dan kriteria kualitas apabila terjadi perubahan pada bobotnya maka alternatifnya berubah menjadi urutan pertama yaitu Perawatan Berkala (*Periodic Maintenance*), urutan kedua Perawatan Perbaikan (*Schedule Overhaul*) dan urutan ketiga Perawatan Berbasis Kondisi (*Condition Base Maintenance*). Untuk penelitian berikutnya, disarankan untuk melakukan analisis mendalam terkait implementasi perawatan berkala di PT. TPL serta melakukan model penilaian MCDM lainnya yang tidak hanya menggunakan judgement, tetapi juga kombinasi dengan perbandingan nilai kuantitatif.

Daftar Pustaka

Ahmad, R. and Kamaruddin, S. (2012) 'An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application', *Computers Industrial Engineering Online Journal*, 63(1), pp. 135-149.

Al-Najjar, B. and Alsyouf, I. (2003) 'Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making', *International Journal Of Production Economics*, 84(1), pp. 85-100.

Ansori, N. and Mustajib, M.I. (2013) 'Sistem perawatan terpadu', *Yogyakarta: Graha Ilmu*, pp. 24-32.

Borgonovo, E. (2023) 'Sensitivity analysis', *Tutorials in Operations Research: Advancing the Frontiers of OR/MS: From Methodologies to Applications*, pp. 52-81.

Carnero, M.C. (2005) 'Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. a case study', *Decision support systems*, 38(4), pp. 539-555.

Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, C.T. and Chen, H.C. (2007) 'An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine', *Computers & Industrial Engineering*, 52(2), pp. 296-307.

Corder, A. (1996) 'Teknik manajemen pemeliharaan', *Erlangga*.

Dewi, N.C. and Rinawati, D.I. (2015) 'Analisis penerapan Total Productive Maintenance (TPM) dengan perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses mesin Cavitec PT. Essentra Surabaya (studi kasus PT. Essentra)', *Industrial Engineering Online Journal*, 4(4).

Dogan, O. (2021) 'Process mining technology selection with spherical fuzzy AHP and sensitivity analysis', *Expert Systems with Applications*, 178, pp. 114999.

Duffuaa, S.O., Raouf, A. and Campbell, J.D. (1999) 'Planning and control of maintenance systems', New York: John Wiley and Son.

Justin, T. M. (2021) 'Maintenance strategy and decision making using Analytic Hierarchy Process (AHP) method', *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11(9).

KEMENPERIN (2017) *Kompetensi keahlian teknik alat berat*. Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.

Li, P., Qian, H., Wu, J. and Chen, J. (2013) 'Sensitivity analysis of TOPSIS method in water quality assessment: i. sensitivity to the parameter weights', *Environmental monitoring assessment*, 185, pp. 2453-2461.

Maletić, D., Maletić, M., Lovrenčić, V., Al-Najjar, B. and Gomišček, B. (2014) 'An application of Analytic Hierarchy Process (AHP) and sensitivity analysis for maintenance policy selection', *Organizacija*, 47(3), pp. 177-188.

Mu, E. and Pereyra-Rojas, M. (2016) *Practical decision making: an introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) using super decisions V2*. Springer.

Pranowo, I.D. (2019) *Sistem dan manajemen pemeliharaan (maintenance: system and management)*. Deepublish.

Purwono, H. (2016) 'Pengujian dan perhitungan performa mesin Komatsu Sa12V140-1 setelah proses remanufacturing', *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(2), pp. 6-11.

Saaty, T.L. (2001) *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. RWS publications.

Saaty, T. L. and Vargas, L.G. (2012) *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Springer Science & Business Media.

Setiawan, R., Arif, F.A.S., Putro, J.O., Princes, E., Silalahi, F.T.R., Geraldina, I., Julianti, E. and Safitri, J.J.I.A. (2023) *E-learning pricing model policy for higher education*. IEEE Access.

Silalahi, F.T.R., Simatupang, T.M. and Siallagan, M.P. (2020) 'A system dynamics approach to biodiesel fund management in Indonesia', *AIMS Energy*, 8(6), pp. 1173-1198.

Smith, A.M. and Hinchcliffe, G.R. (2004) 'Preventive maintenance—definition and structure', *RCM gateway to world class maintenance*. Amsterdam: Elsevier, pp. 19-37.

Stephens, M.P. (2010) *Productivity and reliability-based maintenance management*. Purdue University Press.

TPL (2023) *Halaman utama PT. Toba Pulp Lestari*. Available at: <https://www.tobapulp.com/> (Accessed: 15 November 2023).