

PENERAPAN ANALISIS MODE DAN EFEK KEGAGALAN BERBASIS KEHANDALAN PADA PEMBUATAN MOBIL HEMAT ENERGI TIM CIKAL ITB

Sangriyadi Setio¹ *, Rika Yolanda Yuspitasari², Sofia Rachmawati³

Program Studi Teknik Mesin, FTMD, ITB

Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132, Indonesia

¹setio@lmbps.ms.itb.sc.id, ²rikayolan@gmail.com, ³mobilcikal@pusat.itb.ac.id

Abstrak

Kontes Mobil Hemat Energi Shell Eco-marathon adalah kompetisi pembuatan mobil yang paling hemat dalam hal penggunaan bahan bakar yang diikuti oleh mahasiswa-mahasiswa dari seluruh dunia. tim Cikal ITB merupakan salah satu perwakilan ITB yang mengikuti kompetisi Shell Eco-marathon Asia sejak tahun 2010 sampai sekarang.

Dalam seluruh tahapan proses pembuatan mobil hingga kompetisi berlangsung terdapat banyak terjadi kegagalan. Untuk meminimalisasi kegagalan-kegagalan ini, dilakukan penerapan analisis mode dan efek kegagalan berbasis kehandalan.

Perancangan berbasis kehandalan adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan kebutuhan perencanaan dan pelaksanaan pembuatan dari setiap bagian dan seluruh mobil dalam konteks operasinya. Dalam prosesnya adalah menitikberatkan kepada tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk menghilangkan kegagalan dan konsekuensinya untuk setiap jenis kegagalan yang pernah terjadi dan kegagalan potensial.

Dengan menerapkan perencanaan berbasis kehandalan pada pembuatan mobil Cikal, selain telah terbukti meningkatkan kehandalan mobil juga diharapkan para anggota tim generasi berikutnya mempunyai pengetahuan tentang jenis-jenis kegagalan yang mungkin terjadi, serta mengetahui cara pencegahan yang harus dilakukan agar kegagalan dapat diminimalisasi.

Kata kunci: Kehandalan, Analisis mode dan efek kegagalan

Pendahuluan

Shell Eco-marathon merupakan kompetisi mobil hemat energi yang diperuntukkan kepada mahasiswa perguruan tinggi dan akademisi berskala internasional. Shell Eco-marathon telah dilaksanakan setiap tahunnya di benua Eropa, Amerika, dan Asia. Penilaian pada kompetisi ini diukur dari konsumsi bahan bakar mobil setelah menempuh kilometer tertentu (km/liter). Kompetisi ini dikelompokkan berdasarkan jenis mobil dan bahan bakar yang digunakan.

Tim Cikal ITB telah mengikuti Shell Eco-marathon sejak tahun 2010. Pada pelaksanaan kompetisi ini, tim Cikal mengalami kegagalan dalam beberapa kurun waktu. Bahkan sebagian besar kegagalan berulang dari tahun

ke tahun. Kegagalan yang terjadi mencakup semua aspek, teknis dan nonteknis.

Akar masalah dari setiap kegagalan bisa dicari dengan menggunakan bantuan analisis mode dan efek kegagalan. Sehingga tim dapat menerapkan solusi perbaikan-perbaikan sebagai aksi pencegahan dari kegagalan yang mungkin terjadi pada perlombaan berikutnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan konsep kehandalan secara langsung kepada aset, mengurangi kegagalan pada pembuatan mobil Cikal, dan selanjutnya dokumen akhir dapat dipakai sebagai panduan untuk pengembangan mobil dan tim Cikal pada tahun-tahun berikutnya.

Analisis Mode dan Efek Kegagalan

Analisis Mode dan Efek Kegagalan (*Failure Mode and Effect Analysis/FMEA*) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mendefinisikan, mengidentifikasi, dan mengeliminasi kegagalan potensi dan kegagalan yang nyata dari suatu sistem, desain, proses, mesin, ataupun pelayanan sebelum produk mencapai konsumen [1].

FMEA merupakan suatu alat dalam pengembangan produk dan manajemen operasi yang biasanya digunakan untuk menganalisis mode-mode potensi kegagalan yang mungkin terjadi dan membuat prediksi tentang akibat dari masing-masing kegagalan tersebut. FMEA juga dapat digunakan sebagai metode untuk memaksimalkan kepuasan pelanggan terhadap produk ataupun jasa dengan cara mengurangi masalah kegagalan baik yang bersifat potensial ataupun yang diketahui [2].

FMEA pertama kali dikembangkan oleh NASA pada tahun 1960 untuk proyek pendaratan manusia di bulan [2]. Sejak saat itu, FMEA terus dikembangkan oleh berbagai industri. Pada 1970, Ford juga mulai mengembangkan FMEA dalam industri otomotifnya. Pada 1980, FMEA mulai populer dan banyak digunakan oleh industri untuk menekankan kepada keselamatan, kehandalan, dan mutu.

Tujuan FMEA adalah kebutuhan untuk perbaikan [2]. FMEA digunakan untuk meminimalkan risiko kegagalan pada suatu sistem, rancangan, proses, ataupun pelayanan dan mendefinisikan risiko tersebut jika dimungkinkan. Hal ini dapat dilakukan karena FMEA mendata semua mode kegagalan yang mungkin, mencari akar penyebab kegagalan, dan memberikan penilaian mengenai kegagalan tersebut.

Dalam penggunaan FMEA, kegagalan dapat diurutkan dengan memperhatikan beberapa parameternya: tingkat keparahan akibat dari mode kegagalan yang terjadi (*severity*), tingkat keseringan penyebab kegagalan (*occurrence*), dan tingkat deteksi penyebab kegagalan (*detection*). Semua itu

dilakukan dengan cara memberikan penilaian kuantitatif terhadap semua parameter tersebut.

Total penilaian dinyatakan dalam angka yang disebut Angka Prioritas Risiko (*Risk Priority Number/RPN*). RPN didefinisikan sebagai total perkalian nilai tingkat: keparahan, keseringan, dan kemudahan deteksi.

$$RPN = severity \times occurrence \times detection$$

Langkah-langkah yang harus diperhatikan agar hasil dari FMEA tersebut optimal dan tepat sasaran adalah sebagai berikut [3]:

1. Membuat lembar kerja FMEA.
2. Menentukan sistem, mesin, ataupun bagian dari sistem dan mesin yang dianalisis.
3. Mengidentifikasi fungsi.
4. Mengidentifikasi kegagalan fungsi.
5. Mengidentifikasi mode kegagalan, suatu mode kegagalan pada suatu kegagalan fungsi dapat kembali muncul pada kegagalan fungsi yang lain.
6. Memperkirakan dan mendata akibat dari terjadinya kegagalan.
7. Mengidentifikasi penyebab kegagalan.
8. Memberikan penilaian kemungkinan tingkat keparahan akibat dari mode kegagalan yang terjadi.
9. Memberikan nilai tingkat keseringan,
10. Memberikan nilai tingkat deteksi.
11. Menghitung nilai RPN.
12. Membuat tindakan rekomendasi agar dapat memperbaiki kegagalan dan mencegah kegagalan terjadi kembali.
13. Setelah tindakan rekomendasi dilaksanakan, maka dibuatlah: angka keparahan, keseringan, deteksi, dan RPN yang baru.

Lembar kerja FMEA berbentuk tabel sehingga lebih mudah dalam pembacaan. Contoh lembar kerja FMEA dapat dilihat pada Gambar 1.

Nomor: I		Tanggal: 27 September 2010		Halaman: 1 Dari: 4																	
FMEA		Tindakan Rekomendasi																			
		Angka Keparahan																			
		Angka Keseringan																			
		Angka Deteksi																			
		RPN																			
		Penyebab Kegagalan																			
		Efek																			
		Mode Kegagalan																			
		Kegagalan Fungsi																			
		Fungsi																			
Bagian																					
No																					
Proyek: Pembuatan Mobil Cikal		Sistem: Motor		Subsistem:																	

Gambar 1. Lembar Kerja FMEA

Setelah mendapatkan hasil penilaian pada tiap mode kegagalan tiap divisi, kita dapat membuat daftar kegagalan yang harus mendapat perhatian serius hingga kegagalan yang tidak terlalu serius.

Untuk memudahkan analisis, penulis mengkategorikan kegagalan yang terjadi berdasarkan jangkauan RPN yang dimiliki. Pembagian prioritas dibagi menjadi kategori A, B, C dan D. Prioritas lebih awal berarti kegagalan tersebut harus ditinjau secara lebih mendalam.

- Prioritas A memiliki jangkauan RPN lebih besar dari 240
- Prioritas B memiliki jangkauan RPN antara 140-240

- Prioritas C memiliki jangkauan RPN antara 40-140
- Prioritas D memiliki jangkauan RPN antara 0-40

Data nilai RPN yang ada didapatkan dari hasil diskusi dengan para anggota tim Cikal. Nilai RPN yang tinggi mencerminkan keparahan kumulatif dari ketiga kategori yang ada, yaitu tingkat keparahan, tingkat keseringan, dan tingkat kemudahan deteksi. Walaupun demikian, untuk melakukan tindakan penanganan, tim harus melihat potensi kegagalan yang terjadi jika mode kegagalan tersebut terjadi maupun keseringannya. Jika kriteria kegagalan, keseringan, dan kemudahan deteksi mencapai nilai yang ekstrim sekitar 8 atau 9, maka tim harus juga memikirkan cara yang tepat untuk mengurangi kegagalan tersebut.

Pada analisis akhir dicantumkan angka harapan nilai RPN setelah dilakukan tindakan perbaikan pada aset. Perbaikan yang dilakukan diharapkan dapat mencegah nilai potensi kegagalan dalam hal keparahan, keseringan terjadi maupun kemudahan deteksi.

Kegagalan

Suatu kegagalan harus dapat dihilangkan atau diminimalkan baik itu intensitas ataupun efeknya. Langkah yang harus dilakukan adalah dengan mengetahui bagaimana suatu kegagalan itu terjadi, mengidentifikasi efek kegagalan, dan mengidentifikasi akar penyebab suatu kegagalan. Kemudian langkah berikutnya adalah dengan membuat tindakan reko-mendasi yang dapat dilakukan sehingga kegagalan dapat diminimalkan atau bahkan dihilangkan.

Fungsi dan Kegagalan Fungsional

Fungsi mendefinisikan performa operasi termasuk toleransi keluaran yang ingin dicapai.

Kegagalan fungsional adalah suatu keadaan di mana sebuah sistem atau komponen gagal memenuhi fungsinya.

Penting untuk menentukan semua fungsi-fungsi sebuah sistem atau komponen. Dengan mendefinisikan secara jelas fungsi-fungsi tersebut, maka kegagalan fungsional menjadi terdefinisi dengan jelas. Sebagai contoh, tidak cukup mendefinisikan fungsi dari sebuah pompa hanya untuk memindahkan air. Fungsi dari pompa harus didefinisikan secara spesifik seperti laju aliran air yang dipindahkan, tekanan operasi, tingkat vibrasi, efisiensi, dan sebagainya.

Mode Kegagalan

Mode kegagalan adalah kegagalan dari peralatan dan komponen yang mengakibatkan kegagalan fungsional dari sistem atau subsistem. Sebuah kegagalan fungsional juga dapat terjadi jika performa alat mengalami degradasi sehingga tidak tercukupinya kebutuhan operasi. Kebutuhan-kebutuhan operasional ini harus dipandang ketika mengembangkan tugas-tugas perencanaan.

Mode-mode kegagalan dominan adalah mode-mode kegagalan yang bertanggung-jawab terhadap sebagian besar dari semua kegagalan. Ini merupakan mode-mode kegagalan yang paling banyak terjadi dari suatu kejadian kegagalan.

Efek Kegagalan

Efek Kegagalan adalah efek yang terjadi jika suatu kegagalan terjadi pada sistem, rancangan, proses, mesin, ataupun alat. Contoh efek kegagalan adalah mesin tidak bekerja, ketidakstabilan operasi, dan kerusakan pada bagian mesin yang lain.

Pada waktu mengidentifikasi setiap mode kegagalan, efek-efek kegagalan juga harus dicatat. Dengan pencatatan tersebut maka dapat dijelaskan apa yang akan terjadi apabila mode kegagalan memang terjadi. Pencatatan juga dapat mencakup kejadian-kejadian: suatu waktu saat alat tersebut tidak beroperasi, kualitas operasi, bukti bahwa kegagalan memang terjadi, langkah koreksi yang mungkin dilakukan, dan ancaman terhadap keselamatan atau lingkungan. Langkah-langkah ini memungkinkan untuk menetapkan seberapa besar pengaruh dari setiap kegagalan

dan seberapa tinggi tingkat perubahan yang dibutuhkan.

Dengan melakukan proses pencatatan identifikasi fungsi, kegagalan fungsional, mode kegagalan, dan efek kegagalan maka akan memberikan hasil yang mencengangkan dan ada peluang yang sangat menguntungkan untuk memperbaiki prestasi dan keselamatan serta untuk mengeliminasi ketidakefektifan.

Konsekuensi Kegagalan

Dari analisis rinci pada suatu sistem bisa diperoleh banyak mode kegagalan. Masing-masing kegagalan ini dapat mempengaruhi kualitas produk, keselamatan, dan lingkungan.

Konsekuensi-konsekuensi ini sangat mempengaruhi sampai sejauh mana upaya pencegahan kerusakan dilakukan. Dengan perkataan lain, bila kegagalan memiliki konsekuensi yang serius, maka dengan sekuat tenaga akan dicoba untuk mencegahnya. Di lain pihak, bila pengaruhnya kecil atau tidak ada sama sekali, maka dapat diputuskan untuk tidak dilakukan perubahan.

Konsekuensi kegagalan terbagi ke dalam empat kelompok, yaitu

1. Konsekuensi kegagalan tersembunyi

Kegagalan tersembunyi tidak memiliki dampak langsung tetapi dapat merugikan tim karena adanya kerusakan-kerusakan dengan konsekuensi serius, bahkan sangat berbahaya. Kebanyakan dari jenis kerusakan ini terkait dengan peralatan proteksi yang tidak memiliki sistem pencegah kegagalan.

2. Konsekuensi keselamatan dan lingkungan

Suatu kerusakan memiliki konsekuensi-konsekuensi keselamatan apabila dapat menyebabkan kecelakaan atau kematian. Kerusakan dapat memiliki konsekuensi lingkungan apabila melampaui standar lingkungan yang telah ditetapkan.

3. Konsekuensi operasional

Suatu kerusakan memiliki konsekuensi operasional apabila dapat mempengaruhi performa mobil. Konsekuensi ini

membutuhkan biaya dan besarnya biaya menggambarkan seberapa besar usaha yang harus dilakukan untuk mencoba mencegahnya.

4. Konsekuensi nonoperasional

Kegagalan yang termasuk dalam kategori ini tidak mempengaruhi sama sekali baik keselamatan maupun performa.

Metoda berbasis kehandalan menggunakan kategori-kategori ini sebagai dasar untuk proses pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pelaksanaan. Dengan mengetahui secara terstruktur konsekuensi-konsekuensi dari setiap mode kerusakan di atas, metoda berbasis kehandalan mengintegrasikan tujuan-tujuan operasional, lingkungan, dan keselamatan dari fungsi perawatan.

Metoda berbasis kehandalan memfokuskan perhatian pada tugas-tugas yang mempengaruhi prestasi tim.

Tindakan Rekomendasi

Tindakan rekomendasi adalah tindakan spesifik untuk mengatasi kegagalan yang terjadi. Tindakan ini harus dapat mengatasi kegagalan atau meminimalkan akibat dari kegagalan yang terjadi.

Standar Penilaian

Pada kolom angka keparahan, angka keseringan, dan angka deteksi penyebab kegagalan merupakan nilai yang relatif antara satu pihak dengan pihak yang lain. Tabel 1, 2 dan 3 berikut merupakan sistem penilaian tingkat keparahan, keseringan, dan deteksi akibat dari suatu mode kegagalan yang dibuat oleh pihak peneliti.

Pengolahan Data FMEA

Berdasarkan pada Tabel 4 yang telah dibuat untuk motor, kegagalan yang paling berpengaruh adalah pembakaran yang tidak sempurna. Angka RPN tertinggi, yaitu 245, terjadi pada mode kegagalan ini. Hal ini menandakan bahwa kegagalan yang terjadi pada motor sangat berpengaruh pada perlombaan. Motor merupakan jantung dari sebuah mobil, meskipun didukung oleh

pengemudi yang handal namun motornya bermasalah maka akan sulit untuk memenangkan kompetisi.

Nilai RPN yang tinggi bisa dikurangi dengan beberapa cara, yaitu dengan memperbanyak percobaan antara penggunaan pompa injektor dengan berbagai waktu pembakaran untuk mendapatkan setelan yang pas. Atau bisa juga dengan cara mengganti karburator dengan sistem *injection*, dengan membuat *mapping*, yaitu pemrograman yang mengatur saat kecepatan tertentu berapa jumlah bahan bakar yang paling efektif yang harus disemprotkan. Dengan menerapkan langkah di atas, maka nilai RPN yang semula tinggi, yaitu 245, turun menjadi 105.

Tabel 1. Nilai dan kategori tingkat keparahan

Kategori	Keterangan	Nilai
Sangat tinggi	Kegagalan yang dapat menyebabkan mobil tidak bekerja dan tanpa peringatan	8
Tinggi	Mobil tidak dapat beroperasi dan terdapat kerusakan	7
Sedang	Mobil tidak dapat beroperasi dan terdapat sedikit kerusakan	6
Rendah	Mobil tidak dapat beroperasi meskipun tanpa kerusakan	5
Sangat rendah	Mobil dapat beroperasi namun dengan penyimpangan prestasi yang signifikan	4
Minor	Mobil dapat beroperasi namun dengan sedikit penyimpangan prestasi	3
Sangat minor	Mobil dapat beroperasi dengan sedikit gangguan	2
Tanpa akibat	Tidak berakibat apa-apa	1

Tabel 2. Nilai dan kategori tingkat keseringan

Kategori	Keterangan	Nilai
Sangat tinggi	Kegagalan selalu terjadi	9
Tinggi	Kemungkinan terjadi kegagalan 1:10	7
Sedang	Kemungkinan terjadi kegagalan 1:30	5
Rendah	Kemungkinan terjadi kegagalan 1:80	3
Tanpa akibat	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi	1

Tabel 3. Nilai dan kategori tingkat deteksi

Kategori	Keterangan	Nilai
Sangat tidak pasti	Kegagalan tidak dapat dideteksi oleh sistem kontrol pada desain	9

Kategori	Keterangan	Nilai
Rendah	Terdapat kemungkinan yang rendah bagi sistem kontrol alat untuk mendeteksi adanya penyebab kegagalan	7
Sedang	Terdapat kemungkinan yang sedang bagi sistem kontrol alat untuk mendeteksi adanya penyebab kegagalan	5
Tinggi	Terdapat kemungkinan yang tinggi bagi sistem kontrol alat untuk mendeteksi adanya penyebab kegagalan	3
Hampir pasti	Sistem kontrol alat akan mendeteksi bila penyebab kegagalan terjadi	1

Pembuatan Lembar Kerja FMEA dan Analisis

Lembar kerja informasi FMEA merupakan salah satu cara untuk mengelompokkan aset, menjelaskan fungsi dan mode-mode kegagalannya. Dari lembar kerja FMEA, akan jelas terlihat kegagalan-kegagalan yang telah ataupun mungkin terjadi dalam suatu aset.

Pembuatan lembar kerja FMEA dilakukan untuk seluruh komponen mobil dan manajemen serta anggota tim Cikal, yang meliputi

Sasis:

1. Rangka Utama
2. Sistem Pengendalian
3. Sistem Rem

Mesin

1. Piston
2. Gasket
3. Karburator
4. Transmisi
5. Blok mesin

Elektrikal

1. Aki
2. Kabel
3. Sistem pendukung

Manajemen

1. Ketua tim
2. Bendahara

3. Dana usaha
4. Pengemudi
5. Anggota tim teknis
6. Publikasi dan dokumentasi

Analisis yang dilakukan adalah dengan menggunakan perbandingan RPN pada setiap kegagalan yang ada, sehingga dapat mengetahui tingkat keparahan dari setiap kegagalan.

Nilai RPN diperoleh dari hasil diskusi dengan para anggota tim Cikal. Dari hasil diskusi dikembangkan perbandingan nilai yang cocok untuk tiap divisi. Setelah didapatkan nilai yang cocok untuk tiap kegagalan, dilakukan pengecekan ulang dengan anggota-anggota tiap divisi apakah sudah menyetujui nilai dari RPN yang dimaksud.

Nilai RPN yang tinggi mencerminkan keparahan kumulatif dari ketiga kategori yang ada, yaitu tingkat keparahan, tingkat keseringan dan tingkat kemudahan deteksi. Walaupun demikian, untuk melakukan tindakan penanganan, tim harus melihat potensi kegagalan yang terjadi jika mode kegagalan tersebut terjadi maupun keseringannya. Jika kriteria kegagalan, keseringan maupun kemudahan deteksinya mencapai nilai yang tinggi, maka tim harus memikirkan cara yang tepat untuk mengurangi kegagalan tersebut.

Pada analisis ini dicantumkan pula angka harapan nilai RPN setelah dilakukan tindakan perbaikan pada aset. Perbaikan dilakukan diharapkan dapat mencegah nilai potensi kegagalan dalam hal keparahan, keseringan terjadi maupun kemudahan deteksi.

Sebagai contoh, dapat dilihat lembar kerja FMEA pada Tabel 4 untuk motor sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan-perbaikan untuk menurunkan nilai RPN.

Tabel 4. Lembar Kerja FMEA

Proyek: Pembuatan Mobil Cikal					FMEA							Nomor: 1			
Sistem: Motor												Tanggal: 27 September 2014			
Subsistem:					Halaman: 1				Dari: 4						
No	Bagian	Fungsi	Kegagalan Fungsi	Mode Kegagalan	Efek	Penyebab Kegagalan	Angka Keperahan	Angka Kesenangan	Angka Deteksi	RPN	Tindakan Rekomendasi	Baru			
												Angka Keperahan	Angka Kesenangan	Angka Deteksi	RPN
1	Motor	Menghasilkan pembakaran yang optimal sehingga efisiensi mesin maksimal serta sanggup mengonsumsi bahan bakar sesuai spesifikasi SEM	Mesin yang digunakan memiliki efisiensi yang rendah	Terlalu banyak gesekan pada sistem mesin	Konsumsi bahan bakar (kilometer/liter) semakin tinggi	Penggunaan kopling sentrifugal basah	5	5	3	75	Menggunakan sistem kopling <i>jaw</i>	3	5	3	45
2						Rasio gigi yang digunakan terlalu besar sehingga gesekan yang terjadi semakin besar	7	3	5	105	Roda gigi yang akan digunakan lebih dipertimbangkan lagi sesuai dengan tenaga yang diinginkan	4	3	5	60
3						Tegangan yang diberikan pada rantai terlalu kecil atau kendor	2	5	3	30	Sebaiknya tegangan yang diberikan sesuai dengan buku manual	2	1	3	6
4						Bantalan yang digunakan masih merupakan bantalan standar	4	5	5	100	Penggantian bantalan dengan tipe rendah gesekan	2	1	5	10
5						Pelumas tidak diganti sehingga meningkatkan kekentalan	4	1	3	12	Penggantian oli mesin	2	1	3	6
6						Adanya energy yang terbuang dalam pendinginan	4	5	5	100	Mendesain flywheel yang cocok dengan mengurangi jumlah kipas dalam	2	3	5	30

Proyek: Pembuatan Mobil Cikal					FMEA						Nomor: 1				
Sistem: Motor											Tanggal: 27 September 2014				
Subsistem:					Halaman: 1				Dari: 4						
No	Bagian	Fungsi	Kegagalan Fungsi	Mode Kegagalan	Efek	Penyebab Kegagalan	Angka Keparahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN	Tindakan Rekomendasi	Baru			
												Angka Keparahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN
						flywheel karena menggunakan sistem kipas					flywheel				
7				Sistem pembakaran yang tidak sempurna	Penurunan daya mesin yang dihasilkan	Perubahan sistem saluran udara yang tidak sesuai standar pabrik sehingga jumlah udara yang masuk ke pembakaran tidak banyak	8	1	5	40	Perubahan jangan dilakukan dan apabila dilakukan harus didesain sedemikian rupa agar udara yang masuk ke dalam ruang bakar tetap dalam bentuk aliran yang sesuai	4	1	5	20
8						Pengaturan waktu injeksi bahan bakar tidak sesuai dengan tekanan injector	7	7	5	245	Memperbanyak percobaan antara penggunaan pompa injector dengan berbagai waktu pembakaran untuk mendapatkan setelan yang pas	3	7	5	105
9						Kurangnya percobaan mengenai rasio kompresi pada ruang bakar	7	5	5	175	Mencari cara yang tepat dalam meningkatkan rasio kompresi ruang bakar	3	5	5	75
10						Pengaturan celah	6	5	5	150	Mencari kombinasi	3	5	5	75

Proyek: Pembuatan Mobil Cikal				FMEA							Nomor: 1				
Sistem: Motor											Tanggal: 27 September 2014				
Subsistem:				Halaman: 1				Dari: 4							
No	Bagian	Fungsi	Kegagalan Fungsi	Mode Kegagalan	Efek	Penyebab Kegagalan	Angka Keperahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN	Tindakan Rekomendasi	Baru			
												Angka Keperahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN
						pada ruang bakar terlalu kecil sehingga jumlah udara yang masuk lebih besar					celah katup yang sesuai untuk mendapatkan rasio udara dan bahan bakar yang tepat				
11						Penggunaan nozzle standar pabrik tidak bisa menahan tekanan lebih besar dari 300 bar	6	3	5	90	Mendesain atau mencari nozzle yang cocok untuk tekanan diatas 300 bar	3	3	5	45
12						Penggunaan teknologi common rail belum diterapkan pada mesin kecil	6	5	5	150	Pencairan mesin diesel kecil yang sudah menggunakan teknologi common rail	2	5	5	50
13		Menghasilkan daya 350 W	Daya yang dihasilkan motor kurang dari 350 W	Terlalu banyak rangkaian kabel	Terjadi <i>drop voltage</i> dari rangkaian di motor hingga rangkaian pada komponen	Tidak ada sistem kontrol yang mengatur arus yang mengalir dari komponen penggerak ke komponen yang akan digerakkan	5	5	3	75	Dikontrol menggunakan <i>relay</i>	2	3	3	12
14				Rangkaian starter jelek (tidak	Arus yang dialirkan ke komponen yang	Terlalu banyak sambungan	5	3	3	30	Melakukan inspeksi, mengecek fuse, dan studi literatur	3	1	3	9

Proyek: Pembuatan Mobil Cikal					FMEA							Nomor: 1			
Sistem: Motor												Tanggal: 27 September 2014			
Subsistem:					Halaman: 1				Dari: 4						
No	Bagian	Fungsi	Kegagalan Fungsi	Mode Kegagalan	Efek	Penyebab Kegagalan	Angka Keperahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN	Tindakan Rekomendasi	Baru			
												Angka Keperahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN
				terangkai sempurna)	akan digerakkan kecil						untuk menghitung arus yang mengalir				
15				Saluran bahan bakar mengalami kebocoran	Bahan bakar jatuh ke <i>clutch</i>	<i>Clutch</i> tidak bisa berputar	6	5	3	90	Lebih berhati-hati dalam mengisi bahan bakar, tidak boleh berlebih, serta selang diatur sedemikian rupa agar pas	3	3	3	27
16				Magnet bermasalah atau terlalu panas sehingga terjadi <i>short</i>	Pada awal start, arus yang mengalir 6 kali lipat lebih besar, dan meskipun mesin mati, masih ada arus yang mengalir, sehingga komponen belum siap (terlalu panas)	Terlalu sering menggunakan starter	5	7	5	175	Diatur kapan starter harus digunakan dan tidak digunakan	3	3	5	45
17				Solenoid kurang panas	Bahan bakar tidak mengem-bun dengan sempurna	Injector tidak dapat hidup (berfungsi)	5	5	3	75	Dialiri arus listrik terus-menerus	3	3	3	27
18				Berat ringannya flywheel	Jika menggunakan flywheel yang ringan, berat mobil bisa	Masih menggunakan flywheel standar	4	5	5	100	Melakukan tes apakah menggunakan flywheel yang berat	3	3	5	45

Proyek: Pembuatan Mobil Cikal					FMEA						Nomor: 1				
Sistem: Motor											Tanggal: 27 September 2014				
Subsistem:					Halaman: 1 Dari: 4				Baru						
No	Bagian	Fungsi	Kegagalan Fungsi	Mode Kegagalan	Efek	Penyebab Kegagalan	Angka Keperahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN	Tindakan Rekomendasi	Angka Keperahan	Angka Keseringan	Angka Deteksi	RPN
					berkurang, tenaga awal untuk memutar poros kecil, dan pada saat berjalan poros cepat berhenti. Begitu-pun sebaliknya jika menggunakan flywheel yang berat						atau yang ringan				
19		Mengonsumsi bahan bakar sekecil mungkin dan menghasilkan tenaga yang sebesar mungkin	Penggunaan bahan bakar boros	Pengaturan atau penyetelan karburator kurang tepat	Komposisi pencampuran antara bahan bakar dan udara belum optimum	Penyetelan karburator masih manual menggunakan teknisi	4	7	5	140	Penggantian karburator dengan sistem <i>injection</i> , dengan membuat <i>mapping</i> , yaitu pemrograman yang mengatur saat kecepatan tertentu berapa jumlah bahan bakar yang paling efektif yang harus disemprotkan	2	3	3	18
20		Ramah lingkungan	Knalpot menimbulkan bunyi yang berisik			Knalpot tidak diberi muffler					Knalpot diberi muffler				

Kesimpulan

Dengan menerapkan analisis mode dan efek kegagalan berbasis kehandalan pada pembuatan mobil hemat energi tim Cikal ITB, maka prestasi tim Cikal meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2010 tim Cikal menduduki peringkat kelima pada kompetisi SEM di Sepang, Malaysia dalam kategori urban dengan bahan bakar *gasoline*. Tahun 2011 dan 2012 tim Cikal menduduki peringkat pertama untuk kategori yang sama. Dan pada tahun 2014 tim Cikal Gasoline menduduki peringkat pertama kompetisi mobil hemat energi tingkat nasional IEMC 2014 di Surabaya.

Referensi

- [1] Omdahl P. T., Reliability, Availability, and Maintainability Dictionary, ASQC Quality Press, Milwaukee, 1988.
- [2] Stamatis H. D., Failure Mode and Effect Analysis-FMEA from Theory to Execution, ASQC Quality Press, Milwaukee, 1995.
- [3] Setio, Sangriyadi, Manual Kuliah Perawatan Mesin, FTMD ITB. 2000.
- [4] Setio, Herlien D., Bawono, Dono A., Setio, Sangriyadi "Reliability Centered Maintenance for Railway Networks" Proceeding of the 1st International Conference of European Asian Civil Engineering Forum EACEF, UPH, Jakarta, September, 2007.
- [5] Setio, Herlien D., Bawono, Dono A., "Studi Perawatan Jaringan Jalan Rel Kereta Api Berbasis Kehandalan (RCM)", Jurnal Dinamika Teknik Sipil, UMS, Volume 9, Nomor 2, Juli 2009: 163 – 173.