

**ANALISIS PERAWATAN MESIN *BATCHING PLANT* MENGGUNAKAN
METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM)**

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Naufal Al Farisi
161910101075**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2021**



**ANALISIS PERAWATAN MESIN *BATCHING PLANT* MENGGUNAKAN
METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM)**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana

Teknik

Oleh

**Muhammad Naufal Al Farisi
161910101075**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2021**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang memberikan nikmat sehat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Nabi Muhammad SAW merupakan panutan terbesar dalam hidup saya;
3. Kedua orang tua saya, bapak Farid Wijaya dan ibu Rahaju Nugrahani tercinta yang telah merawat saya dari kecil hingga umur 22 tahun, Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan dan bimbingan beliau semua .
4. Saudara kandung saya Risma dan Gani yang telah memberikan dorongan semangat dan moral
5. Saudara saudara Teknik mesin angkatan 2016 yang telah membantu saya selama menyelesaikan penelitian ini.
6. Guru-guruku sejak TK sampai SMA, dan semua dosen jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik dengan sabar dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
7. Almamater Universitas Jember tercinta.

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Surat Al-insyirah ayat 5-6)

“Bekerja keras dan bersikap baiklah. Hal luar biasa akan terjadi”

“ Ikhtiar, Doa dan Tawakal”



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Naufal Al Farisi

NIM : 161910101075

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul Analisis Perawatan Mesin *Batching Plant* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 25 Januari 2021
Yang Menyatakan,

Muhammad Naufal Al Farisi
161910101075

SKRIPSI

**ANALISIS PERAWATAN MESIN *BATCHING PLANT* MENGGUNAKAN
METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM)**

Oleh

Muhammad Naufal Al Farisi

161910101075

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Syuhri M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T.,M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Mesin *Batching Plant* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*” telah disetujui pada :

Hari, tanggal : Senin, 25 Januari 2021

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Ahmad Syuhri M.T.

NIP 19670123 199702 1 001

Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.

NIP 19711114 199903 1 002

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T.

NIP 197002281997021001

Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 197003221995011001

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

RINGKASAN

ANALISIS PERAWATAN MESIN *BATCHING PLANT* MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)*; Muhammad Naufal Al Farisi; 120 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Mesin *batching plant* adalah mesin yang besar dan kompleks untuk membuat beton cair maupun padat. Pada perusahaan beton masih terjadi banyak *downtime*. Oleh karena itu penelitian saya akan memberikan rekomendasi berupa penerapan preventive maintenance terhadap mesin *batching plant*. *Reliability Centered Maintenance* adalah salah satu metode untuk mendapatkan *preventive maintenance* dengan berdasar pada nilai keandalan mesin yang diteliti. Penelitian dimulai dengan pemilihan sistem memakai diagram pareto pada mesin *batching plant*, dan didapatkan sistem yang paling banyak mengalami kerusakan adalah sistem *mixer*. selanjutnya menganalisis setiap komponen dengan FMEA dan didapatkan urutan komponen kritis dengan melihat nilai RPN paling tinggi yaitu komponen *gearbox*, *bucket mixer*, *seal*, dan *pillow block*. Dilanjutkan dengan uji distribusi dan didapatkan interval pengecekan dan umur penggantian tiap komponen. Waktu interval pengecekan pada komponen *gearbox* sebesar 176 jam dengan umur penggantian 560 jam, komponen *bucket mixer* sebesar 528 jam dengan umur penggantian 1000 jam, komponen *seal* sebesar 348 jam atau dengan umur penggantian 700 jam dan komponen *pillow block* sebesar 880 jam dengan umur penggantian 1900 jam. setelah didapatkan interval pengecekan lalu dicari nilai *availability*, didapatkan pada komponen *gearbox* sebesar 0.9939 atau 99.33%, untuk komponen *bucket mixer* sebesar 0.9988 atau 99.88%, komponen *seal* sebesar 0.9978 atau 99.78% dan komponen *pillow block* dengan nilai *availability* sebesar 0.9988 atau 99.88% maka didapatkan nilai rata rata *availability* setelah dilakukan penerapan metode RCM adalah 99.71% . Hasil *availability* sistem *mixer* dapat dijadikan pembandingan dengan metode dari perusahaan.

SUMMARY

ANALYSIS MAINTENANCE OF BATCHING PLANT MACHINE USING RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) METHOD;

Muhammad Naufal Al Farisi; 120 pages; Departement of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Batching plant machine is a large and complex machine for making liquid and solid concrete. In concrete companies, there is still a lot of downtimes. Therefore, my research will provide recommendations in the form of applying batching plant machine maintenance. Reliability Centered Maintenance is a method to get preventive maintenance based on the value of the machine problem under study. The research was started by selecting the system using the Pareto diagram on a batching plant machine, and it was found that the system that suffered the most damage was the mixer system. Analyze each component with FMEA and get the order of critical components by looking at the highest value of components, namely gearbox, bucket mixer, seal, pillow block. Followed by a distribution test and obtained the checking interval and replacement life for each component. The time interval for checking the gearbox components is 176 hours with a replacement life of 560 hours, the bucket mixer component is 528 hours with a replacement life of 1000 hours, the seal components are 348 hours or with a replacement life of 700 hours and pillow block components are 880 hours with a replacement life of 1900 hours. After the check interval is obtained and the availability of value is obtained, the gearbox component is 0.9939 or 99.33%, for the bucket mixer component is 0.9988 or 99.88%, the seal component is 0.9978 or 99.78% and the pillow component block with an availability value of 0.9988 or 99.88% is obtained. The average value of availability after the application of the RCM method was 99.71%. The availability of mixer system results can be used as a comparison with the method from the company.

PRAKATA

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis perawatan mesin batching plant menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam Penyusunan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil, maka penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya, bapak Farid Wijaya dan ibu Rahaju Nugrahani yang selalu mendukung dan mendoakan disetiap harinya, sehingga saya bisa menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin;
2. Saudara kandung saya Risma dan Gani yang telah memberikan dorongan semangat dan moral
3. Seluruh Keluarga yang senantiasa memberikan semangat dan doa untuk saya;
4. Bapak Ir. Ahmad Syuhri M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran membimbing, meluangkan waktu, pikiran serta perhatiannya guna memberikan saran dan arahan demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Bapak Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 1 dan Bapak Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji 2, yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh dosen, staf administrasi dan teknisi laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing dan membantu kelancaran saya selama saya duduk dibangku perkuliahan;

7. Dulur-dulur Teknik Mesin 2016 Universitas Jember yang telah berjuang bersama, memberikan saran, ide dan membantu selama dibangku perkuliahan serta menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin;
8. Keluarga besar UKMO-ESTER dan Koperasi Mahasiswa yang telah banyak memberikan kesempatan untuk berproses dan belajar dalam berorganisasi;
9. Keluarga besar Himasurya yang telah menemani selama ditanah rantau dan memberikan semangat, hiburan dan tawa dikala resah dan lelah;
10. Mas Fahmi dari Universitas Islam Yogyakarta yang telah mengajarkan statistik dalam penelitian ini
11. Semua pihak yang telah berperan membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih ada kelemahan dan kekurangan baik dalam segi materi maupun teknik penulisan skripsi ini. Peneliti sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar skripsi ini menjadi lebih baik dan semoga memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca

Jember, 25 Januari 2021

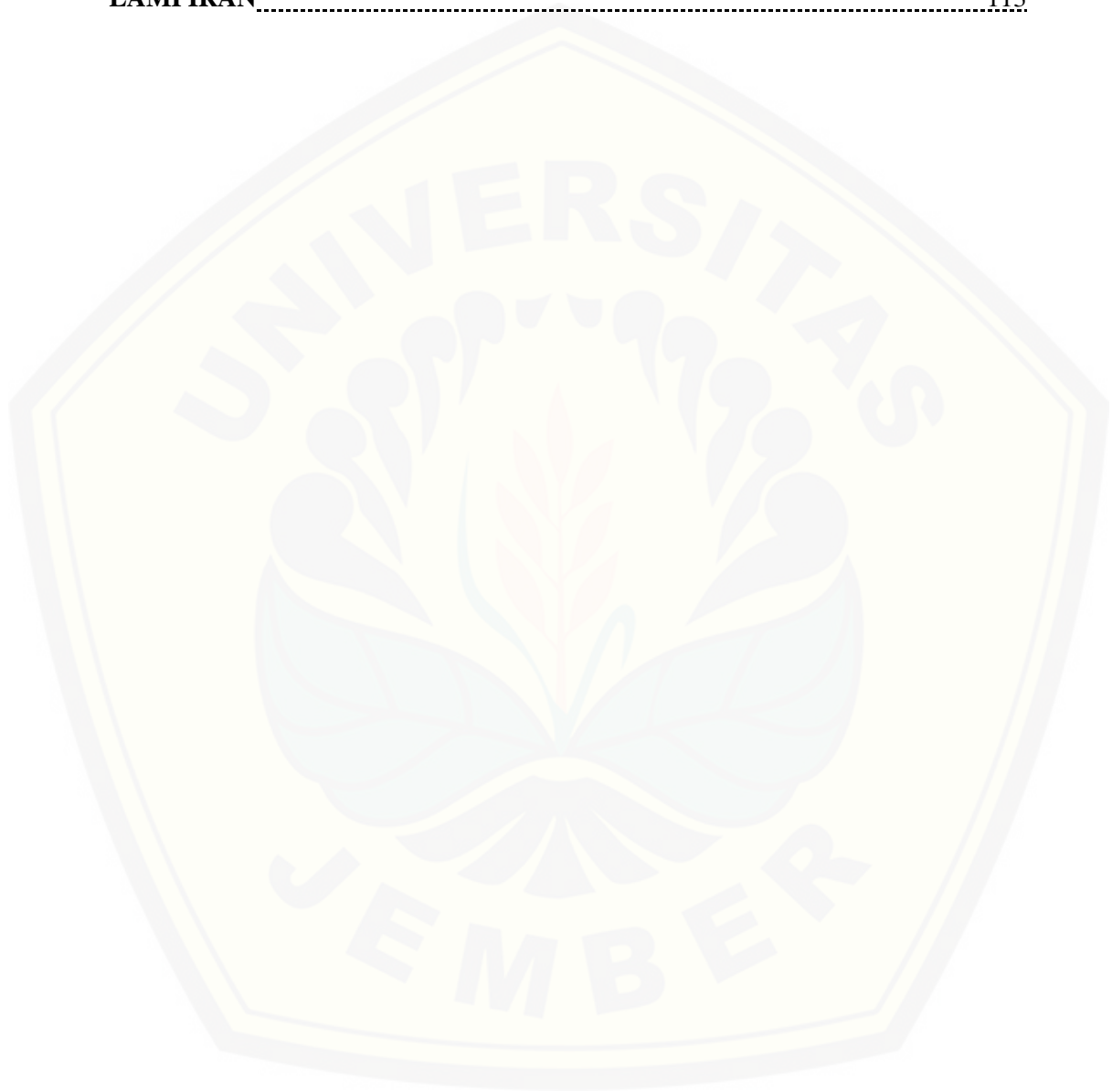
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
LEMBAR PENGESAHAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Batching Plant</i>	6
2.1.1 Cara kerja mesin <i>Batching Plant</i>	7
2.1.2 Sistem mesin <i>Batching Plant</i>	8
2.1.3 Pemilihan Sistem <i>Batching Plant</i>	13
2.2 Sistem Mixer	13
2.2.1 Sistem <i>Mixer</i>	13
2.3 Perawatan	15
2.3.1 Tujuan Perawatan	15
2.3.2 Macam macam Perawatan	15
2.4 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	16
2.4.1 Keandalan (<i>Reliability</i>)	16
2.4.2 Pengertian <i>Reliability Centered Maintenance</i>	16
2.4.3 Tujuan Metode <i>RCM</i>	18

2.5 Tahapan - tahapan Dalam Penyusunan RCM	18
2.5.1 Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Inform	18
2.5.2 Definisi Batas Sistem	19
2.5.3 Deskripsi sistem dan Diagram Blok Fungsional	19
2.5.4 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	20
2.6 Interval Penggantian Komponen dengan Nilai Keandalan	25
2.6.1 Pengertian Nilai Keandalan	25
2.6.2 <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	26
2.6.3 <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	26
2.6.4 Distribusi Probabilitas	26
2.7 Availability	32
2.8 Hipotesis	33
BAB 3. METODOLOGI	34
3.1 Waktu dan Tempat Pengambilan data	34
3.2 Objek Penelitian	34
3.3 Prosedur Penelitian	34
3.3.1 Studi Literatur, lapangan	34
3.3.2 Pengumpulan Data	35
3.3.3 Pengolahan Data	36
3.3.4 Kesimpulan	39
3.4 Diagram Alir	40
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Pengumpulan Data	42
4.2 Pengolahan Data	43
4.2.1 <i>Function Block Diagram (FBD)</i>	43
4.2.2 Mengidentifikasi fungsi dan efek menggunakan FMEA	44
4.2.3 Distribusi pada <i>Time to failure (TTF)</i>	47
4.2.4 Distribusi pada <i>Time to Repair (TTR)</i>	66
4.2.5 Uji kecocokan <i>Goodness of fit</i> data <i>Time to failure</i>	86
4.2.6 Uji kecocokan <i>Goodness of fit</i> data <i>Time to repair</i>	86
4.2.7 Perhitungan MTTR dan MTTF	95
4.2.8 Interval waktu pemeriksaan komponen	98
4.2.9 <i>Age of replacement</i> komponen sistem <i>mixer</i>	101
4.2.10 <i>Reliability Centered Maintenance(RCM)II Decision Worksheet</i>	107

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	109
5.1 Kesimpulan	109
5.2 Saran	110
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN	113



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gambar mesin <i>Batching Plant</i>	6
Gambar 2.2 Sistem Kerja Mesin <i>Batching Plant</i>	7
Gambar 2.3 Sistem Split dan pasir <i>Batching plant</i>	9
Gambar 2.4 Sistem semen mesin <i>Batching Plant</i>	10
Gambar 2.5 Sistem air mesin <i>Batching Plant</i>	11
Gambar 2.6 Sistem <i>Mixer</i> mesin <i>Batching plant</i>	12
Gambar 2.7 Gambar Skema sistem <i>mixer</i> mesin <i>batching plant</i>	14
Gambar 2.8 Contoh FMEA <i>Worksheet</i>	25
Gambar 2.9 Contoh Distribusi weibull.....	28
Gambar 2.10 Contoh Hasil Distribusi LogNormal.....	29
Gambar 2.11 Contoh Distribusi Normal.....	30
Gambar 3.1 Mesin <i>Batching plant</i>	34
Gambar 3.2 Diagram Pareto.....	37
Gambar 3.4 Diagram Alir.....	40
Gambar 4.1 FBD Sistem <i>mixer</i>	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tabel Spesifikasi mesin <i>Batching Plant</i>	12
Tabel 2.2 Tabel Pemilihan Sistem	13
Tabel 2.3 Tabel <i>Severity</i>	20
Tabel 2.4 Tabel <i>Occurence</i>	21
Tabel 2.5 Tabel <i>Detection</i>	22
Tabel 3.1 Tabel Pengumpulan Data.....	36
Tabel 3.2 Tabel Analisis Sistem	36
Tabel 3.3 Tabel <i>FMEA Sheet</i>	38
Tabel 4.1 Tabel Pengumpulan Data.....	42
Tabel 4.2 Tabel <i>Failure Mode and effect analyze (FMEA)</i> pada sistem <i>mixer</i>	45
Tabel 4.3 Tabel Penentuan TTF distribusi normal komponen <i>gearbox</i>	48
Tabel 4.4 Tabel Penentuan TTF distribusi lognormal komponen <i>gearbox</i>	49
Tabel 4.5 Tabel Penentuan TTF distribusi Eksponensial komponen <i>gearbox</i>	50
Tabel 4.6 Tabel Penentuan TTF distribusi weibull <i>gearbox</i>	52
Tabel 4.7 Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>gearbox</i>	52
Tabel 4.8 Tabel Penentuan TTF distribusi normal komponen <i>bucket mixer</i>	54
Tabel 4.9 Tabel Penentuan TTF distribusi lognormal komponen <i>bucket mixer</i>	55
Tabel 4.10 Tabel Penentuan TTF distribusi Eksponensial komponen <i>bucket mixer</i>	56
Tabel 4.11 Tabel Penentuan TTF distribusi weibull <i>bucket mixer</i>	57
Tabel 4.12 Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>bucket mixer</i>	57
Tabel 4.13 Tabel Penentuan TTF distribusi normal komponen <i>seal</i>	58
Tabel 4.14 Tabel Penentuan TTF distribusi lognormal komponen <i>seal</i>	59
Tabel 4.15 Tabel Penentuan TTF distribusi Eksponensial komponen <i>seal</i>	60

Tabel 4.16	Tabel Penentuan TTF distribusi weibull <i>seal</i>	61
Tabel 4.17	Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>seal</i>	61
Tabel 4.18	Tabel Penentuan TTF distribusi normal komponen <i>Pillow block</i>	63
Tabel 4.19	Tabel Penentuan TTF distribusi lognormal komponen <i>Pillow block</i>	64
Tabel 4.20	Tabel Penentuan TTF distribusi Eksponensial komponen <i>Pillow block</i>	65
Tabel 4.21	Tabel Penentuan TTF distribusi weibull <i>Pillow block</i>	66
Tabel 4.22	Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>Pillow block</i>	66
Tabel 4.23	Tabel Penentuan TTR distribusi normal komponen <i>gearbox</i>	68
Tabel 4.24	Tabel Penentuan TTR distribusi lognormal komponen <i>gearbox</i>	69
Tabel 4.25	Tabel Penentuan TTR distribusi Eksponensial komponen <i>gearbox</i>	70
Tabel 4.26	Tabel Penentuan TTR distribusi weibull <i>gearbox</i>	71
Tabel 4.27	Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>gearbox</i>	72
Tabel 4.28	Tabel Penentuan TTR distribusi normal komponen <i>bucket mixer</i>	73
Tabel 4.29	Tabel Penentuan TTR distribusi lognormal komponen <i>bucket mixer</i>	74
Tabel 4.30	Tabel Penentuan TTR distribusi Eksponensial komponen <i>bucket mixer</i>	75
Tabel 4.31	Tabel Penentuan TTR distribusi normal weibull <i>bucket mixer</i>	76
Tabel 4.32	Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>bucket mixer</i>	76
Tabel 4.33	Tabel Penentuan TTR distribusi normal komponen <i>seal</i>	77
Tabel 4.34	Tabel Penentuan TTR distribusi lognormal komponen <i>seal</i>	78
Tabel 4.35	Tabel Penentuan TTR distribusi Eksponensial komponen <i>seal</i>	79
Tabel 4.36	Tabel Penentuan TTR distribusi weibull <i>seal</i>	80
Tabel 4.37	Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>seal</i>	81
Tabel 4.38	Tabel Penentuan TTR distribusi normal komponen <i>Pillow block</i>	82
Tabel 4.39	Tabel Penentuan TTR distribusi lognormal komponen <i>Pillow block</i>	83
Tabel 4.40	Tabel Penentuan TTR distribusi Eksponensial komponen <i>Pillow block</i>	84
Tabel 4.41	Tabel Penentuan TTR distribusi weibull <i>Pillow block</i>	85

Tabel 4.42	Tabel TTF <i>index of fit</i> komponen <i>Pillow block</i>	85
Tabel 4.43	Uji <i>goodness of fit</i> TTF komponen <i>gearbox</i>	86
Tabel 4.44	Uji <i>goodness of fit</i> TTF komponen <i>bucket mixer</i>	88
Tabel 4.45	Uji <i>goodness of fit</i> TTF komponen <i>seal</i>	89
Tabel 4.46	Uji <i>goodness of fit</i> TTF komponen <i>pillow block</i>	90
Tabel 4.47	Uji <i>goodness of fit</i> TTR komponen <i>gearbox</i>	91
Tabel 4.48	Uji <i>goodness of fit</i> TTR komponen <i>bucket mixer</i>	92
Tabel 4.49	Uji <i>goodness of fit</i> TTR komponen <i>seal</i>	93
Tabel 4.50	Uji <i>goodness of fit</i> TTR komponen <i>pillow block</i>	94
Tabel 4.51	Perhitungan <i>age of replacement gearbox</i>	102
Tabel 4.52	Perhitungan <i>age of replacement bucket mixer</i>	104
Tabel 4.53	Perhitungan <i>age of replacement seal</i>	105
Tabel 4.54	Perhitungan <i>age of replacement pillow block</i>	106
Tabel 4.55	Tabel <i>RCM II Worksheet sistem mixer</i>	107

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara berkembang yang sedang meningkatkan pembangunan ekonomi. Pembangunan ekonomi dapat meningkat dengan cara memberikan infrastruktur yang dibutuhkan. Pembangunan infrastruktur yang dibutuhkan masyarakat Indonesia antara lain jembatan yang menghubungkan antara daerah kecil yang dibatasi sungai, dan jalan raya yang lebih baik. Menurut Rahmat dkk. (2016) bahwa beton merupakan struktur dasar yang penting dan dominan pada pembuatan infrastruktur dan bangunan. Maka untuk menunjang pembangunan infrastruktur, beton merupakan hal yang penting.

Pengembangan industri beton pracetak dimulai dengan produk pertamanya adalah tiang listrik beton prategang berpenampang H untuk keperluan PLN. Untuk memenuhi kebutuhan pelanggan, maka selain tiang listrik prategang berpenampang H dikembangkan pula tiang listrik bulat berongga dengan sistem sentrifugal. Sistem sentrifugal ini pada perkembangannya digunakan juga untuk produksi tiang beton lainnya termasuk tiang pancang. Produk yang juga dikembangkan adalah produk-produk beton pracetak lain seperti balok jembatan, dinding penahan tanah, pipa, bantalan jalan rel, dan lain-lain (Website Pabrik Beton).

Menurut Firni (2015) bahwa Mesin *batching plant* merupakan alat yang digunakan untuk membuat *ready mix concrete* yang dilengkapi alat berupa *mixer*, *generator* dan *loader*. Pembuatan beton di dalam mesin *batching plant* ada beberapa tahapan proses yaitu penimbangan, pencampuran atau pengadukan, penuangan dan pencetakan beton. Mesin *batching plant* terdiri dari beberapa sistem yaitu sistem split dan pasir, sistem air dan obat, sistem semen dan juga sistem *mixer*. Setiap sistem memiliki komponennya tersendiri seperti *gearbox*, *transmisi* dan komponen lainnya agar mesin *batching plant* dapat berjalan dengan baik sesuai dengan yang diinginkan. *Downtime* pada

salah satu sistem akan mengakibatkan terhentinya produksi pembuatan beton *precast*. Komponen pada mesin *batching plant* jika dalam produksi mengalami kerusakan atau kegagalan fungsi akan menimbulkan *downtime* yang berkepanjangan, salah satu akibatnya beton akan berkurang kualitasnya dan cacat. Kualitas industri beton sangatlah menentukan tingkat persaingan antar industri, jika tidak dapat bersaing dengan industri lain maka tidak dapat bertahan di pasaran.

Mesin *batching plant* memiliki *downtime* yang tinggi, tercatat pada bulan Januari - November 2019 ada 58 kerusakan dengan *downtime* sebesar 150 jam. Ini dikarenakan di perusahaan masih menerapkan sistem *maintenance* dengan cara penggantian pada saat kerusakan mesin terjadi (*corrective maintenance*). Pertimbangan perusahaan mengapa menerapkan *corrective maintenance* karena dinilai lebih murah biaya. Padahal, tidak selalu kebijakan *corrective maintenance* itu lebih murah daripada *preventive maintenance*. *Corrective maintenance* akan terasa mahal apabila telah terjadi kerusakan berat akibat *maintenance* yang tidak dilakukan secara berkala. Karena tidak dilakukan secara berkala, maka kita tidak akan tahu komponen mesin bagian mana yang berpotensi mengalami kerusakan. Untuk mengurangi nilai dan frekuensi *downtime* tersebut maka perusahaan perlu menerapkan *maintenance* dengan metode *Reliability Centered Maintenance* selanjutnya disebut RCM (Dokumen Pabrik Beton)

RCM adalah suatu metodologi dalam perencanaan perawatan yang bertujuan untuk menjaga sistem secara keseluruhan agar dapat berfungsi sesuai dengan tingkat performansi yang diinginkan. RCM digunakan untuk memperoleh kegiatan perawatan agar suatu aset fisik terus bekerja melakukan fungsinya sesuai konteks pengoprasian pada saat ini, RCM juga melakukan pendekatan menggunakan analisa kuantitatif dan kualitatif sehingga memungkinkan menelusuri penyebab kegagalan, mode kegagalan dan memberikan solusi yang tepat sesuai dengan permasalahan. Analisa kualitatif pada RCM menggunakan bantuan metode FMEA (*Failure mode and effects analysis*), Menurut Huang dan Xiao (2020) bahwa *failure mode and effects*

analysis (FMEA) adalah instrumen yang penting dalam manajemen kualitas proaktif untuk meningkatkan nilai keandalan dari suatu sistem, metode *FMEA* dapat menentukan mode kegagalan dan penyebab kegagalan pada tiap komponen yang ingin dianalisis dan dapat memberikan hasil berupa urutan komponen yang kritis dan solusi yang tepat untuk meningkatkan nilai keandalan dari mesin tersebut. Analisa kuantitatif yang digunakan berupa interval waktu untuk menentukan kapan sebaiknya mesin dilakukan perawatan. Nilai keandalan adalah *point* penting untuk menentukan interval waktu pengecekan. Dengan bantuan nilai *MTTR* (*Mean Time To Repair*) dan *MTTF* (*Mean Time To Failure*) dapat menentukan nilai keandalan yang optimal untuk setiap komponen tersebut. Menurut Yavuz dkk. (2019) keuntungan dari *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah dapat menentukan kemampuan mesin melakukan tugasnya secara efisien sesuai pada keseluruhan dari peralatan tersebut, dalam proses saat ini penerapan metode RCM akan memberikan keuntungan yaitu keselamatan dan integritas lingkungan menjadi diutamakan, prestasi operasional yang meningkat, efektivitas biaya operasi dan perawatan yang lebih rendah, meningkatkan ketersediaan dan reliabilitas peralatan, umur komponen yang lebih lama, menurunkan *downtime* mesin, mengurangi penyebab kegagalan dan juga dapat meningkatkan *availability* mesin. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis biaya, karena peneliti tidak diperbolehkan untuk mengetahui data terkait rincian biaya dari perusahaan. Menurut perusahaan tersebut, rincian biaya dalam proses produksi beton termasuk dalam dokumen rahasia perusahaan sehingga tidak semua orang bisa mengetahui, termasuk peneliti. Oleh karena itu, peneliti tidak dapat melakukan analisis biaya. Ahmadi dan Hidayah (2017) meneliti tentang analisis pemeliharaan mesin *blow mould* dengan metode RCM di PT. CCAI. Hasil yang diperoleh adalah dengan menggunakan interval waktu yang optimal pada mesin *blow mould* akan terjadi penurunan *downtime* komponen sebesar 1.56% dan peningkatan *availability* sebesar 1.56%. Hamim dkk. (2017) meneliti tentang usulan Perawatan Sistem *Boiler* dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Hasil yang diperoleh adalah perbandingan

perawatan dapat dilihat adanya potensi penurunan rata – rata *downtime* sebesar 11,33% dari perawatan yang dilakukan perusahaan sekarang dengan usulan yang dilakukan peneliti. Sariyusda (2018) meneliti tentang analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) *Rel Conveyor* pada Mesin Oven BTU Pyramax 150N di PT. Flextronics Teknologi Indonesia - Batam. Hasil yang diperoleh adalah dalam *conveyor* didapatkan tiga komponen kritis yaitu rantai *conveyor*, jaring baja dan alur poros melintang yang memerlukan kegiatan *preventive maintenance* dan *condition based maintenance* yang lebih banyak untuk memastikan ketersediaan alat. Dari penelitian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa analisis perawatan dengan menggunakan RCM dapat menurunkan *downtime* dan cocok diterapkan pada mesin *batching plant*.

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian tentang analisis perawatan *batching plant* menggunakan metode *reliability centered maintenance* perlu dilakukan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang terurai di atas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengetahui komponen kritis mesin *batching plant* sistem *mixer* ?
2. Bagaimana cara menganalisis *mode* kegagalan dan fungsi kegagalan tiap komponen menggunakan *FMEA worksheet* ?
3. Bagaimana cara menentukan interval waktu pengecekan dan komponen kritis pada mesin *batching plant* sistem *mixer* ?
4. Bagaimana cara menghitung tingkat ketersediaan (*availability*) pada mesin *batching plant* sistem *mixer* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang terurai di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui komponen kritis mesin *batching plant* sistem *mixer*.,

2. Untuk mengetahui *mode* kegagalan, fungsi dan frekuensi terjadinya kerusakan,
3. Menentukan interval waktu pengecekan dan komponen kritis pada mesin *batching plant* sistem *mixer*.
4. Menghitung tingkat ketersediaan (*availability*) mesin *batching plant* sistem *mixer*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah :

1. Memberikan interval waktu pengecekan tiap komponen kritis mesin *batching plant* sistem *mixer* agar umur komponen dapat berfungsi lebih lama.
2. Memberikan usulan pengecekan tiap komponen kritis mesin *batching plant* sistem *mixer*.
3. Meningkatkan nilai *availability* mesin *batching plant* sistem *mixer* agar dapat beroperasi lebih baik.
4. Mengimplementasikan ilmu perkuliahan dalam dunia industri
5. Kualitas produk untuk masyarakat lebih baik karena jumlah waktu peralatan dapat beroperasi dengan baik (*availability*) meningkat

1.5. Batasan Masalah

Penjelasan mengenai batasan masalah yang akan diteliti :

1. Penelitian ini tidak menghitung dari sisi aspek biaya
2. Cara pembongkaran dan perakitan saat kegiatan perawatan diasumsikan dilakukan sesuai prosedur perusahaan

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Batching Plant*

Menurut Puspitasari dan Permatasari (2015) *batching plant* adalah mesin yang digunakan untuk membuat beton dengan cara mencampurkan bahan pembuat beton. Mesin *batching plant* secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.1.

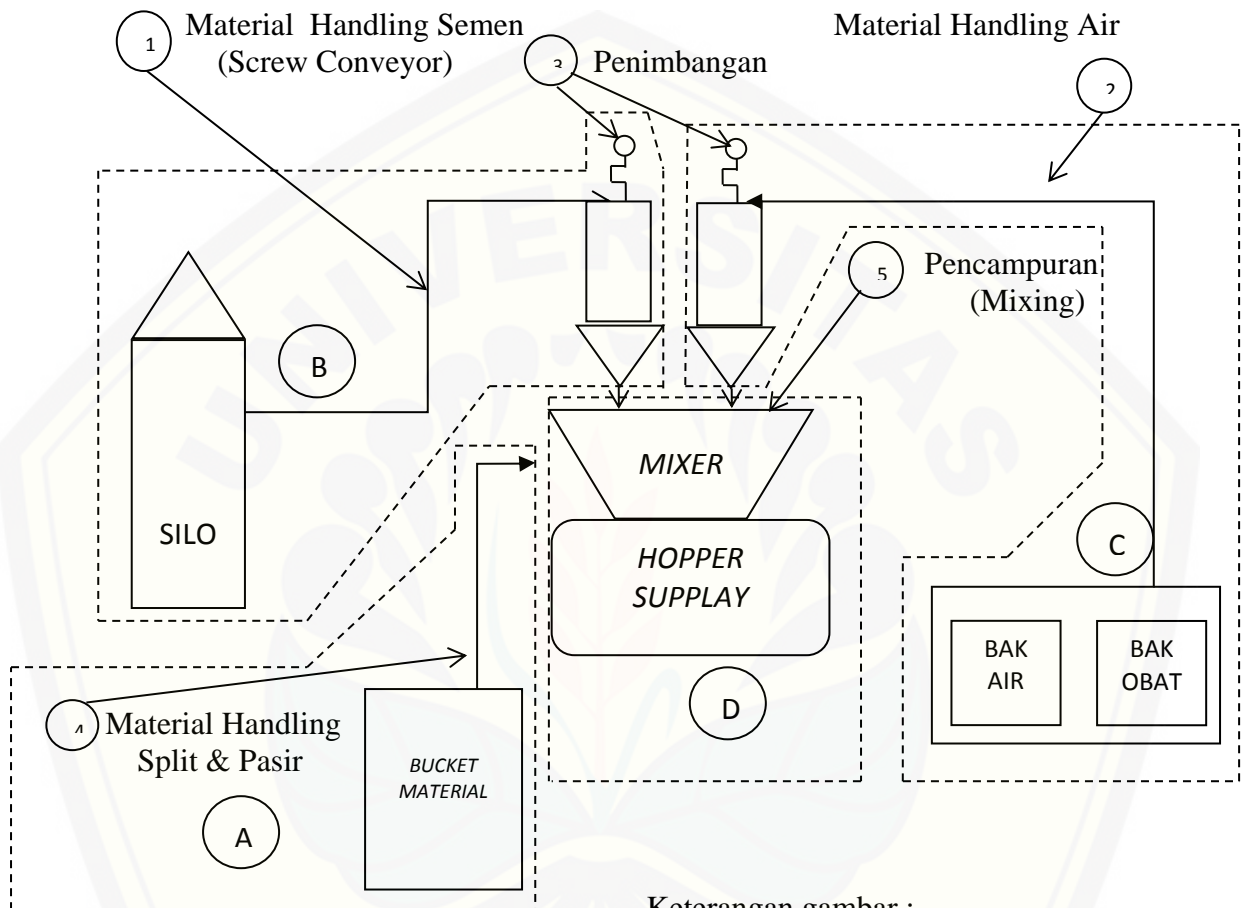


Gambar 2.1 *Mesin Batching Plant*

(Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/global-construction-project-concrete-mixing-batching-plant-18926708833.html>)

2.1.1 Cara Kerja mesin *batching plant*

Mesin *batching plant* memiliki 4 sistem antara lain: sistem semen, sistem split dan pasir, sistem air dan obat dan sistem *mixer*, bagan sistem pada mesin *batching plant* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Keterangan gambar :

A = Cara Kerja sistem Split dan Pasir

B = Cara Kerja Sistem Semen

C = Cara Kerja Sistem air dan obat

D = Cara Kerja *mixer*

Gambar 2.2 Sistem Kerja Mesin *Batching Plant*

Cara Kerja:

- a. Operator mengoperasikan *batching plant* dari panel kontrol dengan cara memasukkan berat masing masing bahan yang diinginkan ke panel kontrol. Lalu pada sistem split dan pasir , katup penutup bahan split dan pasir akan terbuka dan pasir split yang sudah tertumpuk akan jatuh ke *material handling* berupa *bucket material*, setelah jatuh *bucket material* akan menimbang berat pasir dan split yang sudah ditentukan lalu setelah sama maka katup tadi akan tertutup. Selanjutnya *bucket material* akan ditarik oleh motor hingga sampai di *mixer*, lalu material akan jatuh di *mixer*.
- b. Secara bersamaan dengan split dan pasir sistem semen juga bekerja, semen yang ada di silo akan dipindahkan atau disalurkan oleh *material handling* semen berupa *screw conveyor* yang ditenagai oleh motor lalu akan jatuh di atas timbangan dan otomatis akan menimbang, setelah berat sama dengan yang diinginkan pintu timbangan semen akan terbuka lalu semen akan jatuh ke *mixer*
- c. Sistem air dan obat juga bergerak secara bersamaan, air dan obat yang ada di bak bawah akan disalurkan dengan *material handling* air berupa pipa menggunakan tenaga pompa, setelah sampai di timbangan air dan obat akan ditimbang sesuai beratnya dan setelah sama maka *valve* air akan terbuka lalu air dan obat akan terjatuh ke *mixer*
- d. Setelah bahan tadi sudah sesuai beratnya *mixer* akan hidup, otomatis mencampurkan bahan bahan tadi hingga tercampur, untuk mencampur *mixer* menggunakan motor 3 phasa dengan kapasitas pengadukan 900 - 3500 kg. Setelah diaduk hasil beton akan dimasukkan ke *hopper supply* dan akan diteruskan ke cetakan.

2.1.2 Sistem Mesin *Batching plant*

Pada mesin *Batching Plant* dibagi menjadi 4 sistem kerja yang penting, berikut merupakan sistem yang ada :

a. Sistem *Split* dan Pasir

Sistem ini merupakan sistem yang mengerjakan material *split* dan material pasir dengan mekanisme seperti di bawah :

- 1) Material yang ada pada tempat material diturunkan dengan cara membuka *valve* penghubung tempat material dengan *bucket* material
- 2) Setelah material jatuh ke *bucket* material *vibro* yang berada di *bucket material* akan hidup dan memisahkan pasir dengan batu yang jatuh bersamaan
- 3) Pasir dan *split* yang sudah dipisah akan disemprot dengan air agar bersih dari lumpur
- 4) Pada *bucket material* sudah terdapat *load cell* yang akan menimbang berat tiap material agar sesuai dengan standar pabrik
- 5) Jika material sudah bersih *bucket* material akan otomatis membawa *split* dan pasir dengan bantuan *wire rope pulley* yang akan menarik *bucket* sampai *mixer* dengan tenaga dari motor penggerak. Gambar sistem *split* dan pasir dapat dilihat pada Gambar 2.3.



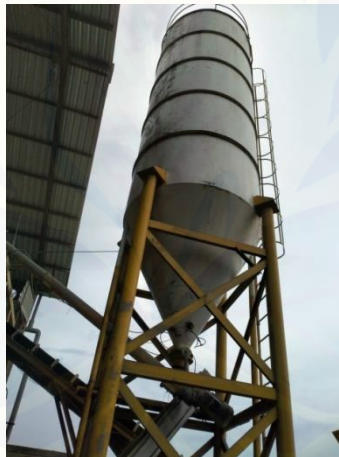
Gambar 2.3 Gambar Sistem *Split* dan pasir mesin *Batching Plant*

b. Sistem Semen

Sistem semen merupakan sistem yang berfungsi untuk memindahkan material pada penyimpanan semen ke sistem *mixer*, berikut merupakan mekanisme sistem semen :

- 1) Semen yang ada pada silo akan jatuh ke pipa *screw conveyor* yang ada di bawah dengan cara membuka pintu penyimpanan
- 2) Setelah semen jatuh *screw conveyor* akan bergerak ke penimbang dengan memakai tenaga dari motor penggerak
- 3) Setelah material ada di penimbang, semen akan ditimbang dengan bantuan *load cell* yang akan menimbang material sesuai standrat pabrik
- 4) Setelah ditimbang *valve* akan dibuka dan semen akan jatuh ke *mixer*.

Gambar sistem semen dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gambar Sistem Semen Mesin *Batching Plant*

c. Sistem air dan obat

Sistem air dan obat merupakan sistem yang berfungsi menimbang air dan obat sesuai standar pabrik dan memindahkannya ke *mixer*. Berikut merupakan mekanisme sistem air dan obat :

- 1) Air dan obat yang berada pada bak penyimpanan akan disalurkan ke timbangan melalui pipa

- 2) Untuk menyalurkan air dan obat pada bak menggunakan bantuan pompa yang akan mendorong material melalui pipa ke penimbang
- 3) Setelah air sampai di timbangan air dan obat akan ditimbang menggunakan *load cell* yang akan ditakar air dan obatnya sesuai standar pabrik
- 4) Setelah sesuai standar *valve* pada timbangan akan terbuka dan material akan jatuh ke *mixer*. Gambar sistem air dan obat dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Gambar Sistem Air Mesin *Batching Plant*

d. Sistem *Mixer*

Sistem *mixer* adalah sistem yang berfungsi mencampur semua material yang sudah ditimbang dan memindahkan ke penyimpanan sementara, berikut merupakan mekanisme sistem *mixer*:

- 1) Bahan yang telah ditimbang akan masuk ke dalam *mixer*
- 2) Setelah material masuk, operator akan menghidupkan *mixer* yang akan menggerakkan *twins haft* agar material teraduk.
- 3) *Twins haft* pada *mixer* digerakkan oleh motor 3 fase yang dapat memberikan tenaga untuk mengaduk dengan kapasitas 900 - 3500 kg
- 4) Pengadukan pada sistem *mixer* tidak sembarangan jadi ada standar berapa menit pengadukan untuk setiap benda yang akan dibuat
- 5) Setelah material tercampur hasil adukan akan masuk ke penyimpanan sementara sebelum dipindahkan ke cetakan. Gambar sistem *mixer* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gambar Sistem *Mixer* Mesin *Batching Plant*

Tiap mesin batching plant memiliki spesifikasi mesinnya sendiri, spesifikasi mesin *batching plant* yang saya teliti dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi mesin *batching plant*

Spesifikasi kapasitas mesin Batching plant 4 M ³ per jam (8.4 Ton/jam)	
A. Sistem Split dan Pasir :	
Split dan pasir hopper timbangan (700kg)	2 ruang
Conveyor material handling split dan pasir	9 meter
Vibrator material	2 set
B. Sistem Semen :	
Screw conveyor	6 meter
Diameter	305 mm
Speed	200 r/min
Motor power	11 kw
Silo kapasitas	20 Ton
Timbangan semen kapasitas	500kg
C. Sistem mixer :	
Mixer twinshaft	1 set
Motor	45 kw / 60 HP
	1500 Rpm
Gearbox	60 Rpm
Hopper kapasitas Mixer	700 – 1000 Kg
Hidrolik cilinder	4 set
Hopper Supley kapasitas	2 Ton
D. Sistem air dan Obat	
Pompa tekan air	100 liter/ menit
Pipa air	2 inch
Bak air	1000 liter

2.1.3 Pemilihan Sistem mesin *Batching Plant*

Menurut (Smith, 1993) dalam Nur (2014), Dalam pemilihan sistem, sistem yang akan dipilih adalah sistem yang mempunyai frekuensi *corrective maintenance* yang tinggi, dengan biaya yang mahal dan berpengaruh besar terhadap kelancaran proses pada lingkungannya. Pemilihan sistem dapat dibantu dengan Diagram Pareto. Menurut (Ariani, 2004) dalam Ramadhani (2014) Diagram pareto adalah suatu gambar yang mengurutkan suatu klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah, mesin *batching plant* memiliki 58 *downtime* yang dibagi kepada 4 sistem, dari 58 *downtime* dapat dipilih sistem yang ber *downtime* tinggi dengan bantuan diagram pareto seperti pada Tabel 2.2.

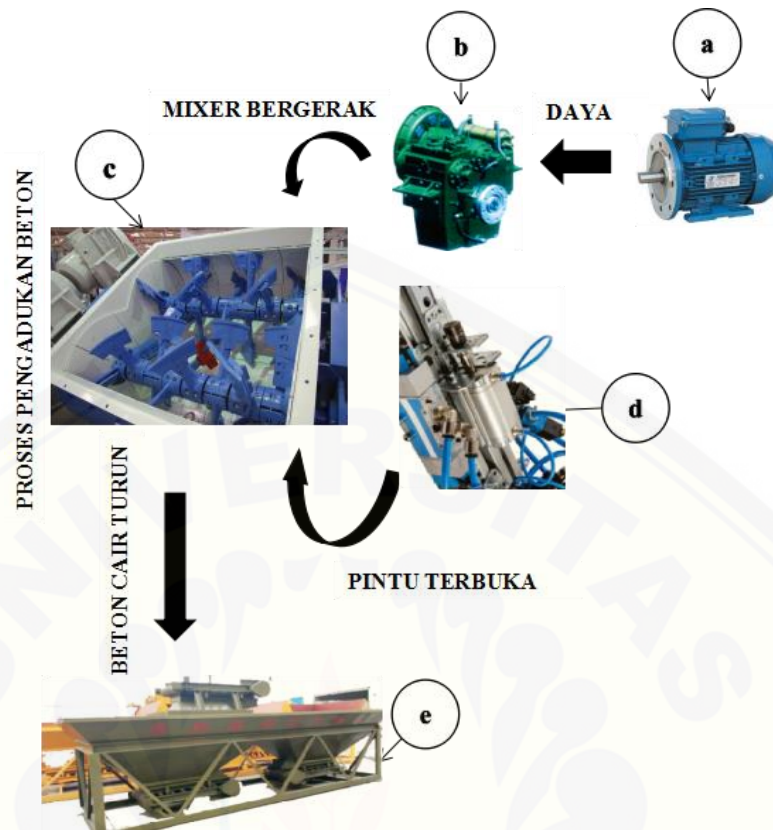
2.2 Tabel data kerusakan sistem

NO	SISTEM DESCRIPTION	BREAKDOWN %	ACUMULATIVE BREAKDOWN	NUMBER OF BREAKDOWN
1	SISTEM MIXER	50	50	29
2	SISTEM SPLIT DAN PASIR	29.31034483	79.31034483	17
3	SISTEM SEMEN	12.06896552	91.37931034	7
4	SISTEM AIR	8.620689655	100	5
	JUMLAH	100		58

2.2 Sistem Mixer

2.2.1 Sistem *Mixer*

Sistem *mixer* merupakan sistem yang paling banyak *downtime* pada mesin *batching plant*, Menurut Claudia dan Felecia (2017) *downtime* merupakan waktu pada saat mesin terhambat atau mengalami gangguan pada saat proses produksi berlangsung. sistem ini juga merupakan sistem yang paling penting dalam pembuatan semen yaitu berfungsi mencampur material yang sudah ditimbang dan menyalurkan ke penyimpanan sementara. Gambar skema sistem *mixer* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Sistem mixer mesin batching plant

Keterangan Gambar :

- a. Motor Penggerak: Sama seperti motor induksi tetapi dapat berputar sendiri tanpa bantuan gaya dari luar.
- b. Gearbox: Komponen utama yang disebut sebagai sistem pemindah tenaga berfungsi untuk mengubah tenaga motor yang berputar untuk menggerakkan mixer.
- c. Bucket mixer: Tempat pengaduk yang ada di dalam mixer fungsinya untuk mencampur bahan hingga merata.
- d. Sistem Hidrolik: Sistem yang memakai tekanan fluida untuk membuat gerakan mekanis, pada batching plant digunakan untuk membuka dan menutup valve ke hopper supply
- e. Hopper Supply: Penyimpanan sementara beton cair

2.3 Perawatan

Mesin yang bekerja secara *continue* akan mengalami penurunan performa kerja dan keandalannya. Menurut Pranoto (2015:13) perawatan adalah kegiatan untuk menjamin aset fisik dapat berfungsi seperti yang diharapkan secara kontinu.

2.3.1 Tujuan Perawatan

Tindakan perawatan memiliki tujuan dalam pelaksanaan tugasnya,

- a. Memperpanjang penggunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
- b. Menjaga tingkat ketersediaan yang optimal pada sistem dan komponen yang digunakan, dalam hal mendapat laba investasi yang maksimal.
- c. Menjamin kesiapan operasional dari sistem dan komponen jika diperlukan dalam kondisi yang darurat.

2.3.2 Macam Macam Perawatan

Perawatan memiliki beberapa jenis seperti perawatan langsung dan perawatan tidak langsung, perawatan dibagi 2 secara garis besar yaitu :

- a. *Corrective maintenance* adalah perawatan yang hanya dilakukan pada saat mesin *breakdown*. Pengertian *corrective maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah mengenali kerusakan yang terjadi dan bertujuan untuk mengembalikan kondisi ke keadaan dimana mesin / peralatan tersebut dapat berfungsi dengan baik. Pemeliharaan korektif langsung dilakukan secepatnya ketika kerusakan terjadi. Pemeliharaan tipe ini dilakukan jika mesin / peralatan tersebut dapat mempengaruhi aktivitas produksi secara keseluruhan
- b. *Preventive maintenance*, merupakan pemeliharaan yang dilakukan pada interval atau kriteria yang telah ditentukan untuk mengurangi kemungkinan rusak atau degradasi fungsi mesin / peralatan, dijelaskan bahwa *Preventive maintenance* menggunakan perhitungan perkiraan dimasa depan berdasarkan hasil pengawasan alat / mesin.

2.4 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

2.4.1 Keandalan (*Reliability*)

Menurut Ebeling (1997), *Reliability* adalah berfungsinya suatu komponen atau sistem melakukan fungsinya pada saat dioperasikan dengan optimal dalam jangka waktu tertentu. Keandalan mesin bergantung pada periode waktu penggunaan, mesin yang digunakan terus menerus maka keandalannya akan terus menurun. Keandalan ini memiliki indikator utama dari keandalan suatu sistem yaitu fungsi probabilitas. *Probability Density Function* ($f(t)$) merupakan fungsi yang mendeskripsikan *shape* dari distribusi kegagalan. *Reliability function* ($R(t)$) merupakan fungsi probabilitas suatu mesin atau komponen untuk tidak rusak dalam periode waktu tertentu (t). *Hazard Rate Function* ($h(t)$), merupakan fungsi yang menunjukkan banyaknya kegagalan per satuan waktu (t). Setiap fungsi probabilitas dapat menghitung keandalan dari suatu mesin atau komponen dari beberapa perspektif.

2.4.2 Pengertian *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Menurut Bhakti (2017) *Reliability Centered Maintenance (RCM)* merupakan rekomendasi tindakan perawatan yang dihasilkan dengan pendekatan *reliability* sebagai tindakan perencanaan masing masing mode kegagalan komponen. Definisi RCM menurut Pranoto (2015:7) adalah proses yang berfungsi untuk menentukan usulan kegiatan yang dilakukan untuk menjamin aset fisik dapat memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya. Pada dasarnya RCM menjawab 7 pertanyaan utama terhadap sistem yang diteliti. Ketujuh pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Apakah fungsi dari aset dan standar kinerja yang terkait dengan fungsi itu sesuai dengan konteks operasinya saat ini (*system function*)?

Bila perawatan dimaksudkan untuk menjamin agar aset terus menerus memenuhi fungsi yang diharapkan, maka tujuan perawatan untuk aset hanya ditetapkan dengan mendefinisikan apa saja fungsi ini. Dengan alasan ini, proses RCM dimulai dengan mengidentifikasi fungsi dari setiap aset pada

mesin tersebut. Bila dilakukan dengan betul, langkah ini biasanya menghabiskan 1/3 waktu yang dibutuhkan untuk keseluruhan analisis RCM.

b. Bagaimana sistem tersebut gagal memenuhi fungsinya (*Functional Failures*)?

Mengidentifikasi kegagalan apa saja yang dapat ditimbulkan dalam RCM dibagi pada dua tingkatan. Pertama dengan menanyakan bagaimana komponen dapat gagal dalam memenuhi fungsinya, kemudian kedua dengan menanyakan kemungkinan apa saja yang menyebabkan hilangnya fungsi tersebut. Kegagalan fungsi dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu aset untuk memenuhi standar prestasi yang diinginkan.

c. Apa penyebab dari setiap kegagalan fungsi tersebut ?

Langkah ini dimulai dari mengidentifikasi mode kegagalan yang diperkirakan akan menyebabkan hilangnya fungsi.

d. Apakah yang terjadi pada saat penyebab kegagalan tersebut muncul ?

Setelah mengidentifikasi mode kegagalan dan efek kegagalan juga tercatat selanjutnya adalah menjelaskan apa yang akan terjadi apabila mode kegagalan timbul contohnya seperti *downtime*, efek pada kualitas dan lingkungan. Langkah ini memungkinkan untuk menetapkan seberapa tinggi tingkat perawatan dan pencegahan yang dibutuhkan.

e. Bagaimana kegagalan tersebut berpengaruh ?

Proses RCM tidak hanya mengakui pentingnya konsekuensi kegagalan dalam pengambilan keputusan dalam perawatan, RCM juga mengelompokkan pengaruh dalam perawatan menjadi 4 kategori yaitu

- 1) Pengaruh kegagalan tersembunyi
- 2) Pengaruh keselamatan dan lingkungan
- 3) Pengaruh operasional
- 4) Pengaruh non operasional

f. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan ?

Dalam RCM tindakan preventif yang digunakan dikelompokkan menjadi 3 kategori

1) *Scheduled on condition*

2) *Scheduled restoration*

3) *Scheduled discard*

g. Apa yang harus dilakukan jika tidak ditemukan tindakan proaktif yang sesuai ?

Hal yang harus dilakukan jika tidak ditemukan tindakan proaktif yaitu dengan tugas pemulihan dan pembuangan terjadwal, maksudnya adalah tugas pemulihan memerlukan manufaktur ulang komponen atau *redesign* komponen.

2.4.3 Tujuan *Reliability centered maintenance*

Tujuan dari RCM adalah sebagai berikut:

- a. Mengembangkan desain yang sifatnya mampu dipelihara (*maintainability*) baik
- b. Memperoleh informasi yang penting untuk melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik
- c. Mengembangkan sistem perawatan yang dapat mengembalikan mesin kepada keandalannya seperti semula dari downtime yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan

2.5 Tahapan - tahapan Dalam Penyusunan RCM

Adapun tahapan - tahapan penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diantaranya adalah :

2.5.1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi (*System Selection and Information Collection*)

Pemilihan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu:

- a. Sistem yang berkaitan dengan masalah keselamatan (*safety*) dan lingkungan.
- b. Sistem yang memiliki biaya dan tindakan yang tinggi
- c. Sistem yang memiliki kontribusi yang besar atas terjadinya *shutdown*.

2.5.2. Definisi Batas Sistem (*System Boundary Definition*)

Dalam suatu fasilitas produksi atau pabrik jumlah sistem yang tersedia sangat banyak oleh karena itu perlu dilakukan definisi batas sistem. Hal ini dilakukan untuk menjelaskan batasan-batasan suatu sistem yang akan dianalisis dengan RCM sehingga semua fungsi dapat diketahui dengan jelas. Perumusan *system boundary definition* yang baik dan benar akan menjamin keakuratan proses analisis sistem.

Batas sistem ini memungkinkan suatu sistem dipandang sebagai satu dan dapat menunjukkan ruang lingkup apa saja dari sistem tersebut. Perumusan *system boundary definition* yang benar akan membuat penelitian agar lebih terstruktur dengan baik, hal ini dikarenakan peneliti akan lebih memfokuskan pada satu sistem dan dapat menjamin keakuratan proses analisis sistem.

2.5.3. Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional (*System Description and Functional Block Diagram*)

Deskripsi sistem dan diagram blok merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap komponen yang menyusun sistem tersebut sehingga dibuat tahapan identifikasi detail dari sistem yang meliputi:

a. Deskripsi sistem

Uraian sistem yang menjelaskan cara kerja sistem serta penggunaan instrumen yang ada dalam sistem.

b. *Functional Block Diagram*

Interaksi antara satu blok diagram fungsi dengan blok diagram fungsi lainnya.

c. Masukan dan keluaran sistem

Pengembangan fungsi subsistem memungkinkan kita untuk melengkapi dan mendokumentasikan fakta dari elemen-elemen yang melintasi batas sistem. Elemen-elemen melintasi sistem dapat berupa energi, panas, sinyal, fluida, dan sebagainya. Beberapa elemen berperan sebagai input dan beberapa elemen berperan sebagai output yang melintasi batas sistem.

d. *System Work Breakdown System (SWBS)*

SWBS digunakan untuk menggambarkan kelompok bagian-bagian peralatan yang menjalankan fungsi tertentu. *System Work Breakdown Structure* disusun berdasarkan data fungsi dari sistem yang diuraikan menjadi bagian bagian yang mengikuti bagan struktur dan menghasilkan informasi komponen pada sistem yang cukup terperinci.

2.5.4. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah proses mengidentifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem. Sebelum memulai FMEA, sangat penting untuk menyelesaikan beberapa *pre work* untuk mengkonfirmasi kekuatan komponen ke dalam analisis

a. *Severity (Keparahan)*

Menurut Ridhawati (2015), Merupakan penilaian yang menghubungkan dengan seberapa besar kemungkinan terjadinya dampak yang timbul akibat adanya kegagalan atau kecacatan yang timbul / terjadi. Contoh tabel untuk keparahan dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Tabel *Severity*

<i>Effect</i>	<i>Severity of Effect for FMEA</i>	<i>Rating</i>
Tidak Ada	<ul style="list-style-type: none"> Bentuk kegagalan tidak memiliki pengaruh 	1
Sangat Minor	<ul style="list-style-type: none"> Sebagian kecil produk harus dikerjakan ulang di tempat Pelanggan yang jeli menyadari defect tersebut 	2
Minor	<ul style="list-style-type: none"> Gangguan minor pada lini produksi Sebagian produk harus dikerjakan secara on-line ditempat Sebagian pelanggan menyadari defect tersebut 	3
Sangat Rendah	<ul style="list-style-type: none"> Gangguan minor pada lini produksi Produk harus dipilih dan sebagian dikerjakan ulang Pelanggan secara umum menyadari defect tersebut 	4

Rendah	<ul style="list-style-type: none"> • Gangguan minor pada lini produksi • 100% produk harus dikerjakan ulang • Produk dapat beroperasi, tetapi sebagian item tambahan beroperasi dengan performansi yang berkurang 	5
Sedang	<ul style="list-style-type: none"> • Gangguan minor pada lini produksi • Sebagian produk harus dikerjakan ulang (tanpa ada pemilihan) • Produk dapat beroperasi, tetapi sebagian item tambahan tidak dapat berfungsi 	6
Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> • Gangguan minor pada lini produksi • Produk harus dipilih dan sebagian dibongkar ulang • Produk dapat beroperasi, performansi berkurang 	7
Sangat Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> • Gangguan mayor pada lini produksi • 100% produk harus dibongkar • Produk tidak dapat dioperasikan dan kehilangan fungsi utamanya 	8
Berbahaya dengan peringatan	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat membahayakan operator mesin • Kegagalan akan terjadi dengan didahului peringatan 	9

b. Occurrence (Kejadian)

Occurrence adalah seberapa sering kemungkinan penyebab kegagalan terjadi. Nilai *occurrence* terdiri dari 1-10 rating, makin sering terjadinya kegagalan maka makin tinggi nilai yang diberikan. Contoh tabel untuk kejadian dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Tabel *Occurrence*

<i>Probability of Failure</i>	C_{pk}	<i>Rating</i>
Sangat tinggi	> 10.000 jam operasi mesin	1
Kegagalan hampir tidak bisa dihindari	6.001 - 10.000 jam operasi.	2
Tinggi	3.001 - 6.000 jam operasi.	3
Umumnya berkaitan dengan proses terdahulu yang kadang mengalami	2.001 - 3.000 jam operasi.	4
Sedang :	1.001 - 2.000 jam operasi.	5

Umumnya berkaitan dengan proses terdahulu yang kadang mengalami kegagalan tetapi tidak dalam jumlah yang besar	401 - 1.000 jam operasi.	6
	101 - 400 jam operasi.	7
Rendah :	11 - 100 jam operasi	8
Kegagalan terisolasi berkaitan proses serupa		
Sangat rendah :	2 - 10 jam operasi	9
Hanya kegagalan terisolasi yang berkaitan dengan proses hampir identik		
Remote :	< 2 jam operasi.	10
Kegagalan mustahil. Tak pernah ada kegagalan terjadi dalam proses yang identik		

c. *Detection* (Deteksi)

Deteksi adalah seberapa jauh penyebab kegagalan dapat dideteksi, terdiri dari 1-10 rating, semakin sulit deteksi dilakukan maka semakin tinggi nilai yang diberikan. Contoh tabel untuk Kejadian dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Tabel Deteksi

<i>Detection</i>	<i>Likelihood of Detection</i>	<i>Rank</i>
Hampir Tidak Mungkin	Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi	10
Sangat Jarang	Alat pengontrol saat ini sangat sulit mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan	9
Jarang	Alat pengontrol saat ini sulit mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan	8
Sangat Rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sangat rendah	7

Rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi kegagalan rendah	6
Sedang	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sedang	5
Agak Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi kegagalan sedang sampai tinggi	4
Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi kegagalan tinggi	3
Sangat Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat tinggi	2

d. Risk Priority Number (RPN)

RPN merupakan indikator untuk menentukan komponen yang paling kritis dalam FMEA. RPN dihitung dengan cara mengalikan nilai keparahan, kejadian dan deteksi yang hasilnya merupakan skala 1 - 1000, semakin kecil nilai RPN akan semakin bagus komponenya, hal tersebut dapat mempermudah untuk menentukan komponen yang akan menjadi fokus terlebih dahulu.

Langkah langkah prosedur FMEA adalah

Langkah ke-1: *Brainstorming* berbagai bentuk kemungkinan kesalahan atau kegagalan proses Setelah melakukan peninjauan lapangan terhadap proses yang akan dianalisis maka akan melakukan *brainstorming* terhadap kemungkinan kesalahan atau kegagalan yang dapat terjadi dalam proses tersebut. Proses *brainstorming* ini dapat berlangsung lebih dari satu kali untuk memperoleh suatu daftar yang komprehensif terhadap segala kemungkinan kesalahan yang dapat terjadi.

- Langkah ke-2: Membuat daftar dampak tiap-tiap kesalahan. Setelah diketahui semua daftar kesalahan yang mungkin terjadi, maka dimulai penyusunan dampak dari masing-masing kesalahan tersebut. Untuk setiap kesalahan, dampak yang terjadi bisa hanya satu, atau lebih dari satu. Jika lebih dari satu, maka semuanya harus ditampilkan. Proses ini harus dilaksanakan dengan cermat dan teliti karena apa yang terlewat dari proses ini tidak akan mendapatkan perhatian untuk ditangani.
- Langkah ke-3: Menilai tingkat dampak (*severity*) kesalahan. Penilaian terhadap tingkat dampak adalah perkiraan besarnya dampak negatif yang diakibatkan apabila kesalahan terjadi. Bila pernah terjadi maka penilaian akan lebih mudah, tetapi bila belum pernah maka penilaian dilakukan berdasarkan perkiraan.
- Langkah ke-4: Menilai tingkat kemungkinan terjadinya (*occurrence*) kesalahan. Sama dengan langkah keempat, bila tersedia cukup data maka dapat dihitung probabilitas atau frekuensi kemungkinan terjadinya kesalahan tersebut.
- Langkah ke-5: Menilai tingkat kemungkinan deteksi dari tiap kesalahan atau dampaknya. Penilaian yang diberikan menunjukkan seberapa jauh kita dapat mendeteksi kemungkinan terjadinya kesalahan atau timbulnya dampak dari suatu kesalahan. Hal ini dapat diukur dengan seberapa jauh pengendalian atau indikator terhadap hal tersebut tersedia. Jika tidak ada, maka nilainya rendah, tetapi jika indikator bagus maka nilainya tinggi.
- Langkah ke-6: Hitung *Risk Priority Number* (RPN) dari masing-masing kesalahan dan dampaknya. Total nilai RPN ini dihitung untuk tiap-tiap kesalahan yang mungkin terjadi. Jika proses tersebut terdiri dari kelompok-kelompok tertentu, maka jumlah keseluruhan RPN pada kelompok tersebut dapat menunjukkan seberapa serius kelompok proses tersebut jika suatu kesalahan terjadi.

Langkah ke-7: Urutkan prioritas kesalahan yang memerlukan penanganan lanjut
Setelah dilakukan perhitungan RPN untuk masing-masing potensi kesalahan, maka dapat disusun prioritas berdasarkan nilai RPN tersebut.

Langkah ke-8: Lakukan tindak mitigasi terhadap kesalahan tersebut idealnya semua kesalahan yang menimbulkan dampak tinggi harus dihilangkan sepenuhnya. Penanganan dilakukan secara serentak untuk ketiga aspek, yaitu meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi kesalahan, mengurangi dampak kesalahan bila terjadi. Contoh *FMEA worksheet* dapat dilihat pada Gambar 2.8.

40 tonne truck			
FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE	FAILURE MODE	FAILURE EFFECTS
1 To transfer up to 40 tonnes of material from Startsville to Endburg at speeds of up to 75 mph (average 60 mph) on one tank of fuel	A Unable to transfer any material at all	1 Engine fails 2 Vehicle stolen 3 etc...	Engine analysed separately etc..
	B Unable to achieve 75 mph	1 Clutch slipping 2 etc...	etc...
	C etc...		
2 To be capable of stopping in a controlled manner within a distance of 100 m from a speed of 75 mph	A Unable to stop at all	1 Brakes fail	Braking system analysed separately
	B Unable to stop in a controlled manner	1 Road slippery and ABS system failed 2 etc...	etc....
	C Unable to stop in 100 m from 75 mph	1 etc...	

2.8 Contoh FMEA Worksheet

(Sumber : *Buku Reliability Centered Maintenance*)

2.6 Interval Penggantian Komponen dengan Menggunakan Nilai Keandalan

2.6.1 Pengertian Nilai Keandalan

Nilai Keandalan sistem atau komponen dapat digambarkan melalui parameter keandalan. Parameter utama dalam keandalan adalah *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR)

2.6.2 Mean Time Between Failure (MTTF)

Menurut Kostas N.D (1981), *Mean Time To Failure* (MTTF) adalah rata – rata waktu suatu mesin dapat dioperasikan sebelum terjadinya kerusakan. MTTF ini dirumuskan sebagai hasil bagi dari total waktu pengoperasian mesin dibagi dengan jumlah/frekuensi kegagalan pengoperasian mesin karena *breakdown*. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada rumus di bawah ini :

$$MTTF = \frac{\text{OperationTime}}{\text{FrekuensiBreakdown}} \dots\dots\dots(2.1)$$

MTTF = *Mean Time ToFailure*.

Operation time = waktu mesin bekerja - waku kerusakan yang terjadi

Frekuensi Breakdown = Jumlah kerusakan yang terjadi

2.6.3 Mean Time To Repair (MTTR)

Menurut Kostas N.D (1981), *MTTR* suatu perawatan didefinisikan sebagai probabilitas peralatan yang rusak, akan beroperasi kembali dalam periode waktu perawatan tertentu, dimana tindakan perawatan seperti perbaikan (*repair*), *overhaul* atau penggantian (*replacement*) .

$$MTTR = \frac{\text{BreakdownTime}}{\text{Frekuensibreakdown}} \dots\dots\dots(2.2)$$

MTTR = *Mean Time To Repair*

Breakdowntime = Waktu kerusakan tiap komponen

Frekuensi breakdown = Jumlah terjadinya kerusakan tiap komponen

2.6.4 Distribusi Probabilitas

Dasar untuk semua pertimbangan keandalan adalah pemahaman tentang probabilitas, keandalan didefinisikan sebagai probabilitas atau kemungkinan bahwa sistem tidak akan gagal dalam spesifikasi keadaan tertentu. Probabilitas didefinisikan dan dibahas secara logika dimana probabilitas dapat dikombinasikan dan dimanipulasi. Menurut Ebeling (1997) Setiap mesin memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda-beda. Sejumlah mesin yang sama jika dioperasikan dalam kondisi yang berbeda akan memiliki karakteristik

kerusakan yang berbeda. Mesin yang sama juga jika dioperasikan dalam kondisi yang sama akan memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda. Distribusi kerusakan adalah informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu populasi. Distribusi kerusakan suatu peralatan memiliki bentuk yang berbeda – beda. Distribusi yang umum digunakan adalah distribusi Eksponensial, Weibull, Normal, dan Lognormal dimana distribusi kerusakan ini dapat memenuhi berbagai fase kerusakan. Jika ukuran sampelnya tergolong kecil maka penaksiran parameter distribusi dilakukan dengan metode kuadrat terkecil. Distribusi Eksponensial biasanya digunakan jika laju kerusakan tidak berubah dan konstan terhadap waktu. Distribusi Normal biasanya cocok digunakan pada fenomena terjadinya wear out region. Distribusi Weibull dapat digunakan pada model yang mengalami laju kerusakan menaik maupun menurun. Sedangkan Distribusi Lognormal memiliki kemiripan dengan Distribusi Weibull sehingga jika pada suatu kasus memiliki Distribusi Weibull maka kasus tersebut juga cocok menggunakan Distribusi Lognormal.

a. Distribusi Weibull

Menurut Harinaldi (2005) Distribusi weibull pertama kali diperkenalkan oleh ahli fisika dari swedia waloddi weibull pada tahun 1939, Dalam aplikasinya distribusi ini sering digunakan untuk memodelkan waktu sampai kegagalan (*time to failure*) dari suatu sistem. Ilustrasi yang khas misalnya, yaitu pada sistem dimana jumlah kegagalan meningkat dengan berjalannya waktu (misalnya keausan bantalan) atau berkurang dengan berjalannya waktu.

Distribusi Weibull memiliki beberapa parameter, berikut parameter distribusi Weibull dan fungsinya.

- a. θ sebagai parameter skala (*Scale Parameter*), $\theta > 0$, disebut sebagai *Characteristic Life*.
- b. β , sebagai parameter bentuk (*Shape Parameter*), $\beta > 0$, mendeskripsikan bentuk dari *Probability Density Function*.
- c. α , sebagai parameter lokasi (*Locations Parameter*), parameter ini mempresentasikan awal periode dari penggunaan alat atau komponen. Jika

$\alpha = 0$ maka hanya akan ada 2 parameter pada distribusi ini.

Analisa kegagalan suatu komponen dan sistem yang menggunakan distribusi Weibull persamaannya sebagai berikut

a. Fungsi keandalan distribusi Weibull sebagai berikut.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \dots\dots\dots (2.3)$$

b. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) distribusi Weibull sebagai berikut.

$$MTTF = \beta T \left[\frac{1}{\alpha} + 1 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

Berikut merupakan Nilai Laju Kerusakan :

$\beta = 1$ Laju kerusakan konstan (*constant failure rate*) \rightarrow CFR

$1 < \beta < 2$ Laju kerusakan meningkat (*increasing failure rate*) \rightarrow IFR

Kurva berbentuk konkaf

$\beta = 2$ Laju kerusakan linier (*linier failure rate*) \rightarrow LFR

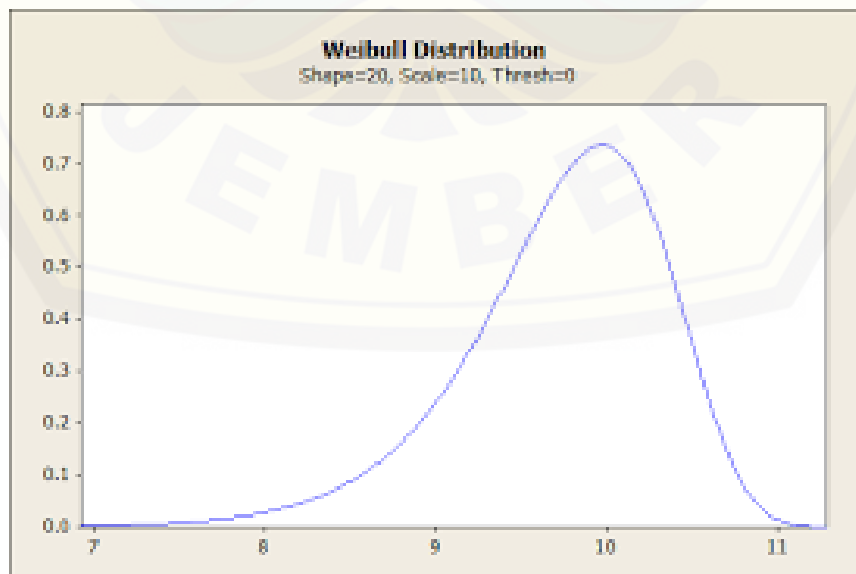
Distribusi Rayleigh

$\beta > 2$ Laju kerusakan meningkat (*increasing failure rate*) \rightarrow IFR

Kurva berbentuk konveks

$3 \leq \beta \leq 4$ Laju kerusakan meningkat (*increasing failure rate*) \rightarrow IFR

Contoh grafik distribusi Weibull dapat dilihat pada Gambar 2.9:



Gambar 2.9 contoh Hasil distribusi weibull

b. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan t med sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk,

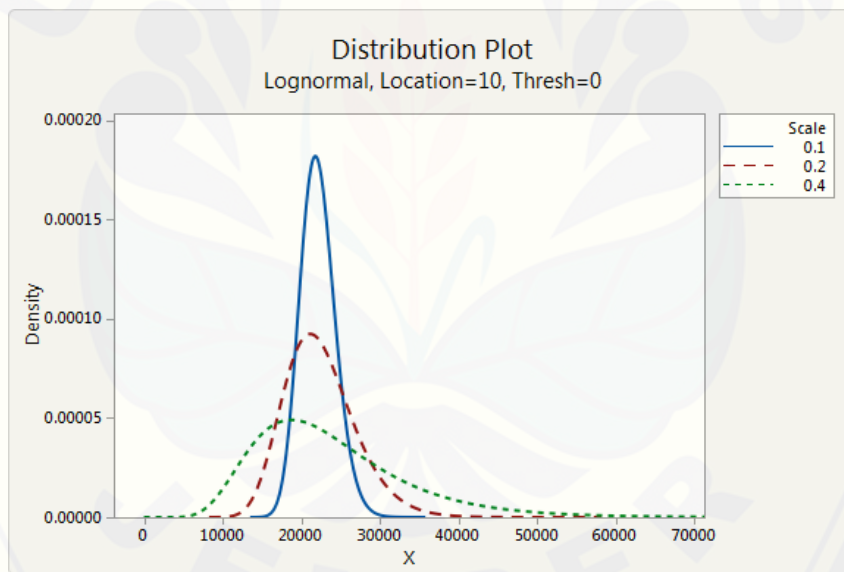
a. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots (2.5)$$

b. MTTF/MTTR

$$MTTF = t_{med} \left(e^{\frac{s^2}{2}} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Contoh grafik distribusi Lognormal dapat dilihat pada Gambar 2.10:



2.10 Contoh Distribusi Lognormal

c. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Karena hubungannya dengan distribusi Lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisis probabilitas Lognormal.

Fungsi reliability yang terdapat dalam distribusi Normal yaitu:

a. Fungsi kepadatan probabilitas f(t)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan ketentuan : $-\infty < t < \infty$

Dimana : μ = Rata-rata dari distribusi

σ = Standar deviasi distribusi

b. MTTR/MTTF :

$$MTTF = \mu \dots\dots\dots(2.8)$$

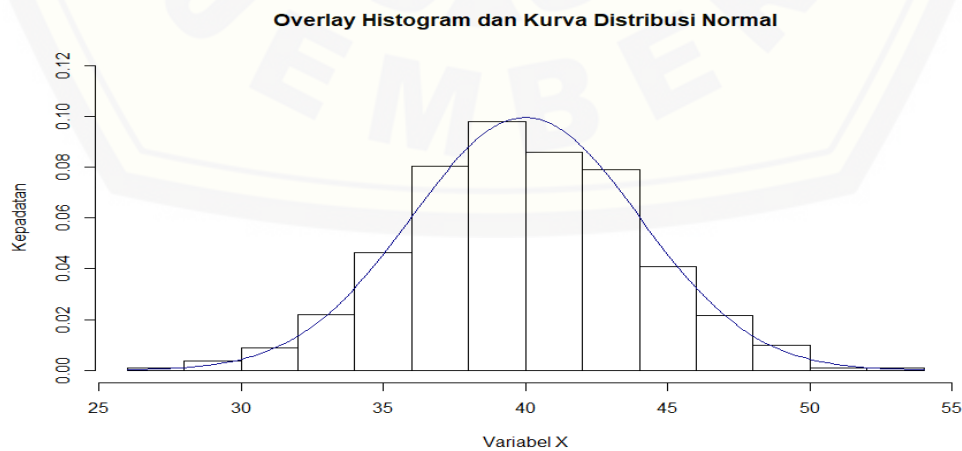
c. Fungsi keandalan R(t)

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_t^{\infty} e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}} dt \dots\dots\dots(2.9)$$

d. Fungsi laju kerusakan r(t)

$$r(t) = \frac{e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}}}{\int_t^{\infty} e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}} dt} \dots\dots\dots (2.10)$$

Contoh grafik distribusi normal dapat dilihat pada Gambar 2.11:



2.11 Contoh Hasil Distribusi Normal

d. Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini adalah distribusi yang paling mudah dianalisis. Parameter yang digunakan dalam distribusi Eksponen adalah λ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi eksponensial yaitu:

A. Fungsi kepadatan probabilitas $f(t)$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-(\lambda \cdot t)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Untuk $t > 0$

Dimana : λ = Rata-rata nilai kedatangan kerusakan

B. MTTR/MTTF

$$MTTF = 1/\lambda \dots\dots\dots (2.12)$$

C. Fungsi keandalan $R(t)$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.13)$$

D. Fungsi laju kerusakan $r(t)$

$$r(t) = \lambda \dots\dots\dots (2.14)$$

Keempat distribusi yang telah disebutkan di atas, digunakan untuk menghitung nilai keandalan. Dari keempat distribusi tersebut, akan dipilih satu distribusi yang dipilih melalui metode *least square* yaitu memilih nilai *index of fit* terbesar berdasarkan hasil yang didapat dan akan diuji kecocokannya menggunakan *goodness of fit*.

e. Uji kecocokan (*goodness of fit*)

Uji kecocokan pada pemilihan distribusi dibagi dua : *general test* seperti *chi square test* yang biasa digunakan untuk data yang lebih banyak, dan *specific test* digunakan untuk data yang lebih sedikit dan menggunakan *least square test*. Contoh *specific test* adalah *kolmogorov-smirnov test* yang digunakan untuk distribusi lognormal dan normal , *Barlett test* yang digunakan untuk distribusi eksponensial dan yang terakhir untuk distribusi weibull adalah

mann test. Uji kecocokan harus dilakukan agar bisa mengetahui apakah distribusi yang telah dipilih benar benar optimal untuk mencari parameter yang akan digunakan untuk mencari MTTF dan MTTR. (Ebeling, 1997)

2.7 Availability

Menurut Winarno (2014) *Availability* adalah ketersediaan kerja mesin yang sudah direncanakan untuk melakukan pekerjaan secara normal dengan waktu yang tersedia. *Availability* berhubungan dengan probabilitas suatu peralatan untuk melakukan operasi secara memuaskan pada kondisi dan periode tertentu. Pada penelitian kali ini *availability* akan dihitung memakai rumus *age of replacement*. *Age of replacement* adalah umur dari tiap komponen bekerja secara optimal, semakin dekat dengan umur penggantinya maka komponen akan semakin tidak optimal, Formulasi perhitungan model Age replacement adalah sebagai berikut (Jardine, 1973) :

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tf.(1-R(tp))}{(tp+Tp).R(tp) + (M(tp)+Tf).(1-R(tp))} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$A(tp) = 1 - D(tp) \dots\dots\dots (2.16)$$

Tf = waktu rata-rata perbaikan kerusakan komponen

Tp = waktu penggantian *preventif*

tp = panjang interval waktu antar tindakan *preventif* (variabel keputusan)

R(tp) = probabilitas terjadinya siklus pencegahan

F(tp) = probabilitas terjadinya siklus kerusakan

D(tp) = Total *Downtime* per unit waktu

A(tp)= *Availability* pada saat tp

Konsep *availability* mengandung dua komponen utama, yaitu :

1. *Maintainability*
2. *Reliability*

Tingkat reliabilitas yang rendah, dapat diimbangi dengan usaha meningkatkan maintainability sehingga tingkat availabilitas mesin optimal. Tingkat availabilitas bersama-sama dengan biaya diperlukan untuk melakukan tindakan perawatan dimana hal tersebut merupakan dua faktor utama yang harus diperhatikan dalam menentukan jadwal perawatan preventive yang optimal.

Availability sering digunakan sebagai penggunaan terhadap kesiapan sistem atau *system readiness* (yakni : derajat, persen, atau probabilitas bahwa sistem akan siap atau ada jika diperlukan untuk digunakan). *Availability* mungkin diekspresikan secara berbeda, tergantung pada misi dan sistemnya.

2.8 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah, tingginya *downtime* mesin *batching plant* (150 jam), maka perusahaan perlu menerapkan kebijakan perawatan (*maintenance policy*) menggunakan metode RCM, karena metode ini dapat mengidentifikasi penyebab kerusakan dan efek kerusakan dari tiap komponen dengan menghasilkan data komponen kritis serta usulan metode perawatan yang dapat menjamin setiap aset fisik dapat bekerja sesuai yang diinginkan, sehingga *reliability* dapat ditingkatkan dari sebelumnya dan meningkatkan nilai *availability*.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pengambilan Data

Pengambilan data telah dilaksanakan pada bulan Desember 2019 - Januari 2020 di daerah Jawa Timur.

3.2 Objek Penelitian

Objek yang akan diteliti pada penelitian ini adalah sistem *mixer* pada mesin *batching plant* beton. Gambar mesin *batching plant* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Mesin *Batching plant*

3.3 Prosedur Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar di atas dijelaskan sebagai berikut

3.3.1. Studi Literatur, Studi Lapangan

Langkah awal yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah studi lapangan ke pabrik beton. Studi lapangan dilakukan untuk mencari informasi dan kondisi perusahaan untuk mengidentifikasi permasalahan yang diangkat

dalam tugas akhir ini. Studi lapangan dilakukan menyangkut area yang digunakan untuk mengumpulkan data yang mendukung penelitian yaitu departemen teknik. Setelah melakukan studi lapangan tahap selanjutnya adalah studi literatur yang bertujuan untuk menggali informasi yang dapat mendukung penelitian salah satunya adalah jurnal maupun skripsi sebelumnya, studi literatur yang saya lakukan adalah mengumpulkan jurnal, skripsi dan juga tentang mesin *batching plant* dan metode *Reliability Centered Maintenance*.

Tahap selanjutnya menentukan objek yang akan dijadikan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah, komponen mesin *batching plant*. Karena mempunyai frekuensi *downtime* yang lebih tinggi dari mesin lainnya pada produksi pembuatan beton, oleh karena itu perlu adanya perencanaan kegiatan perawatan yang tepat untuk menurunkan *downtime* mesin tersebut.

Menentukan objek penelitian juga dapat dilakukan dengan cara *brainstorming* dengan pihak perusahaan, hal ini dapat menambahkan pengetahuan yang kurang didapatkan pada saat studi lapangan dan studi literatur, setelah mendapatkan rumusan masalah yang akan diteliti langkah selanjutnya menentukan data apa yang akan digunakan pada penelitian ini, agar analisis dapat dilakukan dengan terperinci.

3.3.2 Pengumpulan Data

Tahapan ini merupakan tahapan dimana mengumpulkan data yang akan dianalisis, Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini meliputi

- a. Data jenis kerusakan komponen mesin *batching plant*
- b. Data waktu kerusakan dan lama perbaikan mesin *batching plant* ($t=jam$)
- c. Pengumpulan data dilaksanakan selama 1.5 bulan yaitu dimulai dari 1 Desember 2019 sampai 7 Januari 2020.

Data data yang dikumpulkan kemudian dikelompokkan. Contoh data yang dikumpulkan pada pengumpulan data dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Pengumpulan Data

NO	BULAN	JENIS KERUSAKAN KOMPONEN	WAKTU PERBAIKAN KOMPONEN (JAM)
1			
2			
....			
58			

3.3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data berupa perhitungan dengan menggunakan metode RCM. Diantaranya :

a. Menentukan Sistem dan komponen Pada mesin *batching plant*

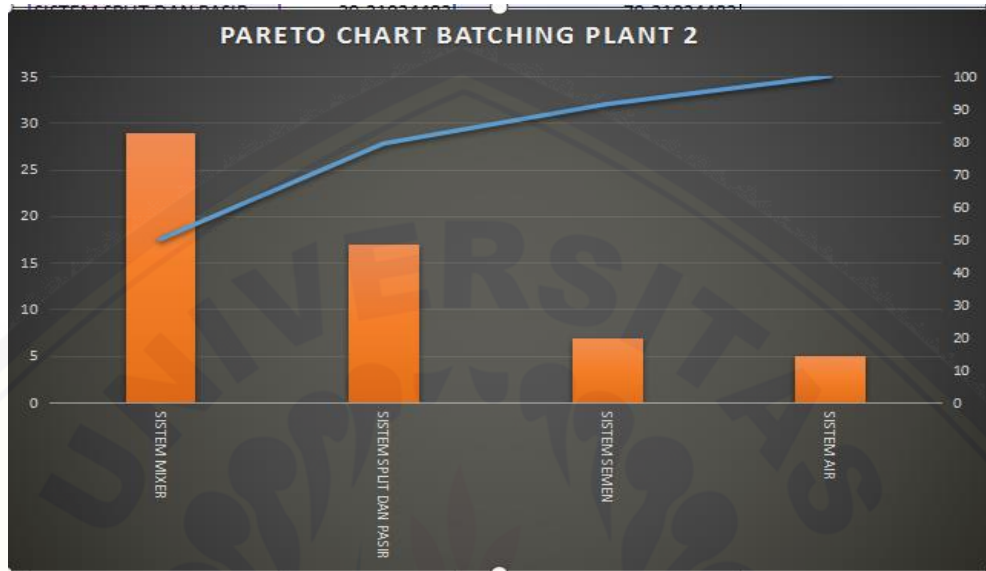
Pada tahap ini berisikan deskripsi yang menjelaskan sistem apa saja yang ada pada mesin *batching plant*, meliputi macam macam sistem yang ada pada mesin *batching plant* dan cara pemilihan sistem yang akan dianalisis dengan menggunakan diagram pareto. Deskripsi tiap sistem dan jumlah kerusakan mesin *batching plant* dapat dilihat pada Tabel 3.2 .

Tabel 3.2 Tabel Analisis sistem

NO	SISTEM DESCRIPTION	BREAKDOWN %	ACUMULATIVE BREAKDOWN	NUMBER OF BREAKDOWN
1	SISTEM MIXER	50	50	29
2	SISTEM SPLIT DAN PASIR	29.31034483	79.31034483	17
3	SISTEM SEMEN	12.06896552	91.37931034	7
4	SISTEM AIR	8.620689655	100	5
	JUMLAH	100		58

Saya menggunakan tabel analisa untuk memilih sistem yang akan saya bahas. Pada tabel analisa terdapat *number of breakdown* yaitu kerusakan yang terjadi pada tiap sistem di bulan Januari sampai November 2019,

Breakdown % yaitu persentase kerusakan tiap sistem yang terjadi pada bulan Januari hingga November 2019. Setelah dianalisis didapatkan diagram pareto seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram pareto sistem *Batching plant*

Pada Gambar 3.2 di atas didapatkan 1 sistem yang *cumulative breakdown* paling tinggi yaitu sistem *mixer*, maka sistem yang akan saya bahas pada skripsi ini adalah sistem *mixer*.

- b. Menjelaskan kegagalan fungsi tiap tiap komponen pada mesin *batching plant* sistem *mixer* dengan menggunakan tabel pengumpulan data.
- c. Membuat alur fungsi sistem *mixer* mesin *batching plant* dengan menggunakan FBD (*Function Block Diagram*)
Suatu sistem dapat dideskripsikan dengan fungsi dari komponen yang terdapat didalamnya. FBD sistem *mixer* mesin *batching plant* akan menunjukkan fungsi dari sistem *mixer* pada mesin pembuat beton.
- d. Pendeskripsian fungsi komponen dan kegagalan fungsi menggunakan FMEA

Penyusunan *FMEA sheet* yang merupakan proses identifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari mesin *batching plant* yang mungkin terjadi. FMEA sendiri sangat penting

fungsinya pada metode RCM karena dapat mencari komponen mana yang paling kritis. Contoh tabel *FMEA sheet* dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Tabel *FMEA sheet*

DFMEA Design Failure Mode and Effects Analysis												
Product Part				Team:			FMEA No.:					
Project:				Responsible:				Manager:				
Item	Functions	Requirement	Failure Mode	Effects	Severity	Class	Causes	Control Methods				RPN
								Prevention Control	Occurrence	Detection Control	Detection	

e. Menentukan prioritas jenis kerusakan berdasarkan nilai RPN (*Risk Priority Number*)

Nilai RPN dihitung setelah didapatkan nilai perkalian dari *severity*, *occurrence* dan *detection* pada FMEA sheet, semakin besar nilai RPN nya maka komponen tersebut perlu penanganan lebih atau usulan yang lebih kritis.

f. Penentuan interval pengecekan optimal dan peningkatan *availability*.

1) Uji Distribusi setelah data yang dibutuhkan terkumpul, uji distribusi dilakukan terhadap waktu perbaikan, waktu antar perbaikan, dan frekuensi kerusakan mesin dengan menggunakan *excel*. Hasil dari uji distribusi tersebut berupa nilai *r / Index of Fit*, nilai yang paling tinggi dari tiap distribusi akan dilanjutkan ketahap berikutnya.

2) Perhitungan uji kecocokan *Goodness of Fit*, uji kecocokan digunakan untuk membuktikan apakah nilai *Index of Fit* distribusi yang sudah di cari benar cocok untuk diterapkan pada komponen tersebut.

- 3) Setelah pemilihan distribusi, langkah selanjutnya adalah mencari parameter yang dibutuhkan untuk menghitung nilai keandalan, setelah parameter dipilih nilai parameter dimasukkan pada rumus nilai keandalan tiap distribusi.
- 4) Perhitungan parameter MTTR dan MTTF dilakukan untuk mencari nilai MTTF dan MTTR, parameter MTTF menggunakan input waktu mesin *batching plant* berfungsi tanpa adanya *breakdown*. Sedangkan untuk parameter MTTR menggunakan input waktu *breakdown* mesin *batching plant*.
- 5) Setelah didapatkan nilai $R(t)$, simulasikan nilai yang sudah didapat dengan menggunakan nilai waktu kelipatan yang sudah ditentukan maka akan didapatkan waktu yang paling optimal untuk penggantian tiap komponen.
- 6) Setelah didapatkan nilai reliabilitas hitung nilai *availability* dengan menggunakan rumus *age of replacement* lalu cari nilai rata rata komponen pada sistem *mixer* dan akan dijadikan pembandingan untuk perusahaan apakah RCM lebih baik dari metode *maintenance* yang digunakan pada perusahaan.

g. Penyusunan *RCM worksheet*

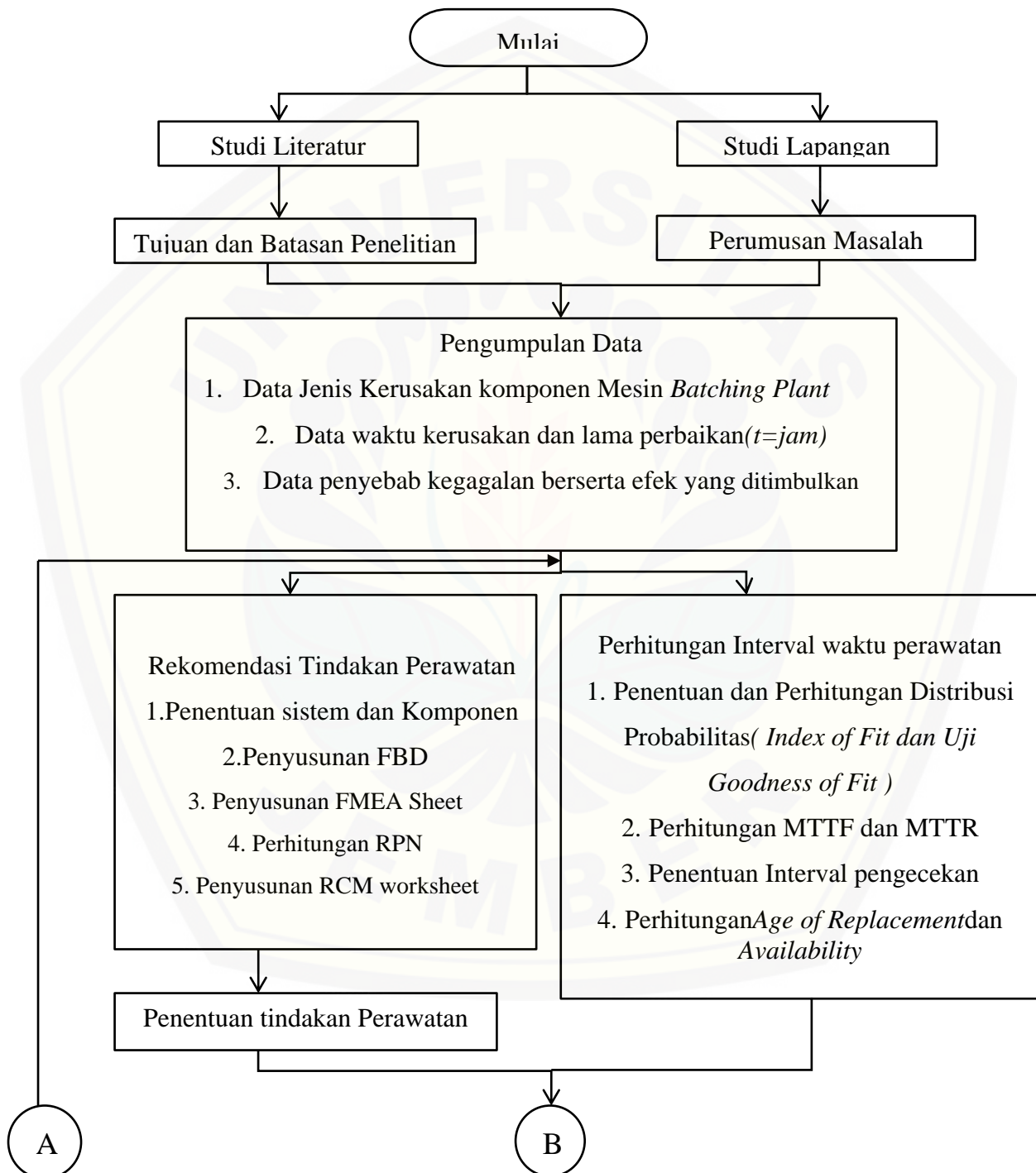
Setelah didapatkannya nilai keandalan, tahap terakhir adalah menyusun pada *RCM worksheet* tindakan perawatan yang sudah ditentukan pada tahap analisis kegagalan dengan FMEA, menambahkan waktu optimal pengecekan tiap komponen dan memberikan rekomendasi cara pengecekan pada tiap tiap komponen yang sudah dianalisis.

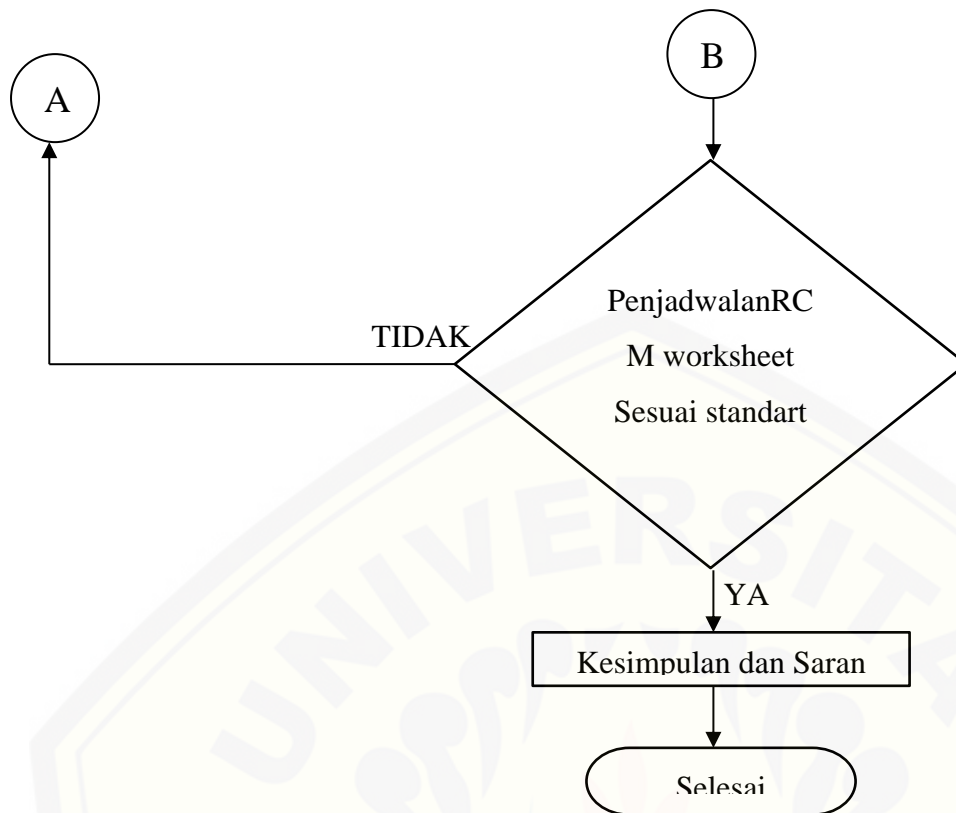
3.3.4 Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap terakhir pada penelitian ini. Tahap ini akan memberikan kesimpulan berupa daftar tindakan yang harus dilakukan dari tiap komponen, memberikan hasil dari keandalan masing masing komponen serta memberikan nilai rata rata *availability* pada sistem *mixer* agar pihak perusahaan dapat membandingkan apakah menggunakan metode rcm lebih baik atau lebih buruk dibandingkan metode yang sudah diterapkan pada pihak perusahaan.

3.5 Diagram Alir

Penelitian ini mempunyai tahapan – tahapan yang disajikan dalam bentuk diagram alir seperti yang terdapat pada Gambar 3.4 sebagai berikut





Gambar 3.4 Diagram Alir

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah penulis lakukan tentang perancangan interval pengecekan dan tindakan perawatan yang sesuai dengan *Reliability Centered Maintenance*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Komponen yang memiliki nilai RPN tinggi adalah komponen kritis, urutan pada komponen yang sudah dianalisis pada metode FMEA adalah komponen *gearbox* dengan nilai RPN 504, untuk komponen *bucket mixer* 75, komponen *seal* sebesar 60 dan *pillow block* 9. Maka komponen yang paling kritis dan perlu perawatan lebih lanjut adalah *gearbox*.
2. Setiap komponen mengalami kegagalan fungsi dan kerusakan berbeda beda berikut merupakan frekuensi terjadinya kegagalan fungsi dan kerusakan tiap komponen sistem *mixer*, pada rentang waktu Januari sampai November 2019 untuk komponen *gearbox* mengalami 1 kegagalan fungsi dengan 6 mode kegagalan dan untuk total kerusakan ada 15 kali, untuk komponen *bucket mixer* mengalami 1 kegagalan fungsi dan 1 mode kegagalan dengan frekuensi kerusakan 4 kali, untuk komponen *seal* mengalami 1 kegagalan fungsi dengan 1 mode kegagalan dan untuk total kerusakan ada 6 kali dan untuk komponen *pillow block* mengalami 1 kegagalan fungsi dengan 1 mode kegagalan dan untuk total kerusakan ada 4 kali.
3. Perancangan penjadwalan berupa interval pengecekan setelah dilakukan analisa pada *downtime*, diperoleh waktu interval pengecekan pada komponen *gearbox* sebesar 176 jam atau 7 hari sekali dengan umur penggantian 560 jam, komponen *bucket mixer* sebesar 528 jam atau 1 bulan sekali dengan umur penggantian 1000 jam, komponen *seal* sebesar 348 jam atau 15 hari sekali dengan umur penggantian 700 jam dan komponen *pillow block* sebesar 880 jam atau 6 minggu sekali dengan umur penggantian 1900 jam.
4. Nilai *availability* pada sistem *mixer* pada komponen *gearbox* sebesar 0.9939 atau 99.33%, untuk komponen *bucket mixer* sebesar 0.9988 atau 99.88%, komponen *seal* sebesar 0.9978 atau 99.78% dan komponen *pillow block*

dengan nilai *availability* sebesar 0.9988 atau 99.88%. Maka didapatkan nilai rata rata *availability* setelah dilakukan penerapan metode RCM adalah 99.71% .

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini antara lain:

1. Berdasarkan dari pengolahan data secara kuantitatif penulis menyarankan agar *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dapat diterapkan dalam sistem *mixer* di pabrik beton.
2. Melakukan *training* bagi jajaran operasional agar lebih memperhatikan pentingnya perawatan preventif.
3. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menambahkan perhitungan biaya perawatan yang akan dilakukan agar hasil semakin realistis
4. Penelitian selanjutnya dapat lebih memperhatikan komponen-komponen lain agar pengintegrasian sistem perawatan dan persediaan suku cadang bisa selaras

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, N., dan N. Y. Hidayah. 2017. Analisis Pemeliharaan Mesin Blowmould Dengan Metode RCM Di PT CCAI. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. 16(2): 167-176.
- Bhakti, R. 2017. Perancangan Sistem Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Pulverizer (Studi Kasus : PLTU Paiton Unit 3). *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- Claudia, J., dan Felecia. 2017. Pengurangan Downtime Mesin Offset di PT X. *Jurnal Titra*. 5(2): 131-136.
- Dervitsiotis, Kostas N. 1981. *Operational Management*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Ebeling, C. 1997. *An Introduction To Reliability And Maintainability Engineering*. New York: McGraw-Hill International.
- Firni, E. A. 2015. Analisis Kapasitas *Batching Plant* Tanah Abang PT. Adhimix Precast Indonesia. *Tugas Akhir*. Yogyakarta: Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada.
- Hamim, R., A. K. Garside, dan H. M. Kholik. 2017. Usulan Perawatan Sistem Boiler dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Teknik Industri*. 18(1): 83-92.
- Harinaldi. 2005. *Prinsip - Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Huang, G., dan L. Xiao. 2020. Failure mode and effect analysis: An interval-valued intuitionistic fuzzy cloud theory-based method. *Applied Soft Computing Journal*
- Nur, A., K. Leksananto, dan H. Prasetyo. 2014. Usulan Kebijakan Perawatan Area Produksi Trim Chassis Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance. *Jurnal Teknik Industri*. 2(4): 25-36
- Pranoto, H. 2015. *Reliability Centered Maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Puspitasari, N. B., dan E. S. Permatasari. 2015. Analisis efektivitas Mesin *Batching Plant 1* dan Mesin *Batching Plant 2* dengan *overall Equipment Effectiveness* Pada PT.X. *Jurnal Teknik*. 4(2): 117-124.

- Rahmat., I. Hendriyani, dan M. S. Anwar. 2016. Analisis Kekuatan Tekan Beton Dengan Bahan Tambah *Reduced* dan *Accelerated Admixture*. *Jurnal Teknik*.7(2): 205-218.¹¹²
- Ramadhani, G. S., Y. Wilandari, dan Suparti. 2014. Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Diagram Kendali Demerit. *Jurnal Gaussian*. 3(3): 401-410.
- Ridhawati, A. 2015. Analisis Keandalan Mesin High Frequency Welding di Plant Kt 24 PT Bakrie Pipe Industries. *Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik Industri Universitas Bakrie.
- Sariyusda. 2018. Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM) Rel Conveyor pada Mesin Oven BTU Pyramax 150N di PT. Flextronics Technology Indonesia - Batam. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1): 33-41.
- Winarno, H., dan S. Y. Negara. 2014. Analisis Productive Maintenance di PT Sankyu Indonesia Internasional. *Jurnal Intech Teknik Industri*. 4(2): 24-32.
- Yavuz, O., E. Dögan, E. Carus, dan A. Görgülü. 2019. Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry. 158: 227-234.

LAMPIRAN

1. Tabel distribusi F

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilitas = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

2. Tabel Standardized normal probabilities

TABLE A.1
Standardized normal probabilities: $\Phi(z) = \int_{-\infty}^z (1/\sqrt{2\pi})e^{-y^2/2} dy$

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
-4.0000	0.00003	0.99997	-3.51000	0.00021	0.99978	-3.02000	0.00126	0.99874
-3.99000	0.00003	0.99997	-3.50000	0.00023	0.99977	-3.01000	0.00131	0.99869
-3.98000	0.00003	0.99997	-3.49000	0.00024	0.99976	-3.00000	0.00135	0.99865
-3.97000	0.00004	0.99996	-3.48000	0.00025	0.99975	-2.99000	0.00139	0.99861
-3.96000	0.00004	0.99996	-3.47000	0.00026	0.99974	-2.98000	0.00144	0.99856
-3.95000	0.00004	0.99996	-3.46000	0.00027	0.99973	-2.97000	0.00149	0.99851
-3.94000	0.00004	0.99996	-3.45000	0.00028	0.99972	-2.96000	0.00154	0.99846
-3.93000	0.00004	0.99996	-3.44000	0.00029	0.99971	-2.95000	0.00159	0.99841
-3.92000	0.00004	0.99996	-3.43000	0.00030	0.99970	-2.94000	0.00164	0.99836
-3.91000	0.00005	0.99995	-3.42000	0.00031	0.99969	-2.93000	0.00169	0.99831
-3.90000	0.00005	0.99995	-3.41000	0.00032	0.99968	-2.92000	0.00175	0.99825
-3.89000	0.00005	0.99995	-3.40000	0.00034	0.99966	-2.91000	0.00181	0.99819
-3.88000	0.00005	0.99995	-3.39000	0.00035	0.99965	-2.90000	0.00187	0.99813
-3.87000	0.00005	0.99995	-3.38000	0.00036	0.99964	-2.89000	0.00193	0.99807
-3.86000	0.00006	0.99994	-3.37000	0.00038	0.99962	-2.88000	0.00199	0.99801
-3.85000	0.00006	0.99994	-3.36000	0.00039	0.99961	-2.87000	0.00205	0.99795
-3.84000	0.00006	0.99994	-3.35000	0.00040	0.99960	-2.86000	0.00212	0.99788
-3.83000	0.00006	0.99994	-3.34000	0.00042	0.99958	-2.85000	0.00219	0.99781
-3.82000	0.00007	0.99993	-3.33000	0.00043	0.99957	-2.84000	0.00226	0.99774
-3.81000	0.00007	0.99993	-3.32000	0.00045	0.99955	-2.83000	0.00233	0.99767
-3.80000	0.00007	0.99993	-3.31000	0.00047	0.99953	-2.82000	0.00240	0.99760
-3.79000	0.00008	0.99992	-3.30000	0.00048	0.99952	-2.81000	0.00248	0.99752
-3.78000	0.00008	0.99992	-3.29000	0.00050	0.99950	-2.80000	0.00255	0.99745
-3.77000	0.00008	0.99992	-3.28000	0.00052	0.99948	-2.79000	0.00264	0.99736
-3.76000	0.00008	0.99992	-3.27000	0.00054	0.99946	-2.78000	0.00272	0.99728
-3.75000	0.00009	0.99991	-3.26000	0.00056	0.99944	-2.77000	0.00280	0.99720
-3.74000	0.00009	0.99991	-3.25000	0.00058	0.99942	-2.76000	0.00289	0.99711
-3.73000	0.00009	0.99991	-3.24000	0.00060	0.99940	-2.75000	0.00298	0.99702
-3.72000	0.00010	0.99990	-3.23000	0.00062	0.99938	-2.74000	0.00307	0.99693
-3.71000	0.00010	0.99990	-3.22000	0.00064	0.99936	-2.73000	0.00317	0.99683
-3.70000	0.00011	0.99989	-3.21000	0.00066	0.99934	-2.72000	0.00326	0.99674
-3.69000	0.00011	0.99989	-3.20000	0.00069	0.99931	-2.71000	0.00336	0.99664
-3.68000	0.00012	0.99988	-3.19000	0.00071	0.99929	-2.70000	0.00347	0.99653
-3.67000	0.00012	0.99988	-3.18000	0.00074	0.99926	-2.69000	0.00357	0.99643
-3.66000	0.00013	0.99987	-3.17000	0.00076	0.99924	-2.68000	0.00368	0.99632
-3.65000	0.00013	0.99987	-3.16000	0.00079	0.99921	-2.67000	0.00379	0.99621
-3.64000	0.00014	0.99986	-3.15000	0.00082	0.99918	-2.66000	0.00391	0.99609
-3.63000	0.00014	0.99986	-3.14000	0.00084	0.99916	-2.65000	0.00402	0.99598
-3.62000	0.00015	0.99985	-3.13000	0.00087	0.99913	-2.64000	0.00415	0.99585
-3.61000	0.00015	0.99985	-3.12000	0.00090	0.99910	-2.63000	0.00427	0.99573
-3.60000	0.00016	0.99984	-3.11000	0.00094	0.99906	-2.62000	0.00440	0.99560
-3.59000	0.00016	0.99984	-3.10000	0.00097	0.99903	-2.61000	0.00453	0.99547
-3.58000	0.00017	0.99983	-3.09000	0.00100	0.99900	-2.60000	0.00466	0.99534
-3.57000	0.00018	0.99982	-3.08000	0.00103	0.99897	-2.59000	0.00480	0.99520
-3.56000	0.00019	0.99981	-3.07000	0.00107	0.99893	-2.58000	0.00494	0.99506
-3.55000	0.00019	0.99981	-3.06000	0.00111	0.99889	-2.57000	0.00508	0.99492
-3.54000	0.00020	0.99980	-3.05000	0.00114	0.99886	-2.56000	0.00523	0.99477
-3.53000	0.00021	0.99979	-3.04000	0.00118	0.99882	-2.55000	0.00539	0.99461
-3.52000	0.00022	0.99978	-3.03000	0.00122	0.99878	-2.54000	0.00554	0.99446

<https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/cd-22/manual/v2appendixc.pdf>

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
-2.53000	0.00570	0.99430	-2.03000	0.02118	0.97882	-1.53000	0.06301	0.93699
-2.52000	0.00587	0.99413	-2.02000	0.02169	0.97831	-1.52000	0.06426	0.93574
-2.51000	0.00604	0.99396	-2.01000	0.02222	0.97778	-1.51000	0.06552	0.93448
-2.50000	0.00621	0.99379	-2.00000	0.02275	0.97725	-1.50000	0.06681	0.93319
-2.49000	0.00639	0.99361	-1.99000	0.02330	0.97670	-1.49000	0.06811	0.93189
-2.48000	0.00657	0.99343	-1.98000	0.02385	0.97615	-1.48000	0.06944	0.93056
-2.47000	0.00676	0.99324	-1.97000	0.02442	0.97558	-1.47000	0.07078	0.92922
-2.46000	0.00695	0.99305	-1.96000	0.02500	0.97500	-1.46000	0.07214	0.92786
-2.45000	0.00714	0.99286	-1.95000	0.02559	0.97441	-1.45000	0.07353	0.92647
-2.44000	0.00734	0.99266	-1.94000	0.02619	0.97381	-1.44000	0.07493	0.92507
-2.43000	0.00755	0.99245	-1.93000	0.02680	0.97320	-1.43000	0.07636	0.92364
-2.42000	0.00776	0.99224	-1.92000	0.02743	0.97257	-1.42000	0.07780	0.92220
-2.41000	0.00798	0.99202	-1.91000	0.02807	0.97193	-1.41000	0.07927	0.92073
-2.40000	0.00820	0.99180	-1.90000	0.02872	0.97128	-1.40000	0.08076	0.91924
-2.39000	0.00842	0.99158	-1.89000	0.02938	0.97062	-1.39000	0.08226	0.91774
-2.38000	0.00866	0.99134	-1.88000	0.03005	0.96995	-1.38000	0.08379	0.91621
-2.37000	0.00889	0.99111	-1.87000	0.03074	0.96926	-1.37000	0.08534	0.91466
-2.36000	0.00914	0.99086	-1.86000	0.03144	0.96856	-1.36000	0.08691	0.91309
-2.35000	0.00939	0.99061	-1.85000	0.03216	0.96784	-1.35000	0.08851	0.91149
-2.34000	0.00964	0.99036	-1.84000	0.03288	0.96712	-1.34000	0.09012	0.90988
-2.33000	0.00990	0.99010	-1.83000	0.03362	0.96638	-1.33000	0.09176	0.90824
-2.32000	0.01017	0.98983	-1.82000	0.03438	0.96562	-1.32000	0.09342	0.90658
-2.31000	0.01044	0.98956	-1.81000	0.03515	0.96485	-1.31000	0.09510	0.90490
-2.30000	0.01072	0.98928	-1.80000	0.03593	0.96407	-1.30000	0.09680	0.90320
-2.29000	0.01101	0.98899	-1.79000	0.03673	0.96327	-1.29000	0.09853	0.90147
-2.28000	0.01130	0.98870	-1.78000	0.03754	0.96246	-1.28000	0.10027	0.89973
-2.27000	0.01160	0.98840	-1.77000	0.03836	0.96164	-1.27000	0.10204	0.89796
-2.26000	0.01191	0.98809	-1.76000	0.03920	0.96080	-1.26000	0.10383	0.89617
-2.25000	0.01222	0.98778	-1.75000	0.04006	0.95994	-1.25000	0.10565	0.89435
-2.24000	0.01255	0.98745	-1.74000	0.04093	0.95907	-1.24000	0.10749	0.89251
-2.23000	0.01287	0.98713	-1.73000	0.04182	0.95818	-1.23000	0.10935	0.89065
-2.22000	0.01321	0.98679	-1.72000	0.04272	0.95728	-1.22000	0.11123	0.88877
-2.21000	0.01355	0.98645	-1.71000	0.04363	0.95637	-1.21000	0.11314	0.88686
-2.20000	0.01390	0.98610	-1.70000	0.04457	0.95543	-1.20000	0.11507	0.88493
-2.19000	0.01426	0.98574	-1.69000	0.04551	0.95449	-1.19000	0.11702	0.88298
-2.18000	0.01463	0.98537	-1.68000	0.04648	0.95352	-1.18000	0.11900	0.88100
-2.17000	0.01500	0.98500	-1.67000	0.04746	0.95254	-1.17000	0.12100	0.87900
-2.16000	0.01539	0.98461	-1.66000	0.04846	0.95154	-1.16000	0.12302	0.87698
-2.15000	0.01578	0.98422	-1.65000	0.04947	0.95053	-1.15000	0.12507	0.87493
-2.14000	0.01618	0.98382	-1.64000	0.05050	0.94950	-1.14000	0.12714	0.87286
-2.13000	0.01659	0.98341	-1.63000	0.05155	0.94845	-1.13000	0.12924	0.87076
-2.12000	0.01700	0.98300	-1.62000	0.05262	0.94738	-1.12000	0.13136	0.86864
-2.11000	0.01743	0.98257	-1.61000	0.05370	0.94630	-1.11000	0.13350	0.86650
-2.10000	0.01786	0.98214	-1.60000	0.05480	0.94520	-1.10000	0.13567	0.86433
-2.09000	0.01831	0.98169	-1.59000	0.05592	0.94408	-1.09000	0.13786	0.86214
-2.08000	0.01876	0.98124	-1.58000	0.05705	0.94295	-1.08000	0.14007	0.85993
-2.07000	0.01923	0.98077	-1.57000	0.05821	0.94179	-1.07000	0.14231	0.85769
-2.06000	0.01970	0.98030	-1.56000	0.05938	0.94062	-1.06000	0.14457	0.85543
-2.05000	0.02018	0.97982	-1.55000	0.06057	0.93943	-1.05000	0.14686	0.85314
-2.04000	0.02067	0.97933	-1.54000	0.06178	0.93822	-1.04000	0.14917	0.85083

(continued)

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
-1.03000	0.15150	0.84850	-0.53000	0.29806	0.70194	-0.03000	0.48803	0.51197
-1.02000	0.15386	0.84614	-0.52000	0.30153	0.69847	-0.02000	0.49202	0.50798
-1.01000	0.15625	0.84375	-0.51000	0.30503	0.69497	-0.01000	0.49601	0.50399
-1.00000	0.15866	0.84134	-0.50000	0.30854	0.69146	0.00000	0.50000	0.50000
-0.99000	0.16109	0.83891	-0.49000	0.31207	0.68793	0.01000	0.50399	0.49601
-0.98000	0.16354	0.83646	-0.48000	0.31561	0.68439	0.02000	0.50798	0.49202
-0.97000	0.16602	0.83398	-0.47000	0.31918	0.68082	0.03000	0.51197	0.48803
-0.96000	0.16853	0.83147	-0.46000	0.32276	0.67724	0.04000	0.51595	0.48405
-0.95000	0.17106	0.82894	-0.45000	0.32636	0.67364	0.05000	0.51994	0.48006
-0.94000	0.17361	0.82639	-0.44000	0.32997	0.67003	0.06000	0.52392	0.47608
-0.93000	0.17619	0.82381	-0.43000	0.33360	0.66640	0.07000	0.52790	0.47210
-0.92000	0.17879	0.82121	-0.42000	0.33724	0.66276	0.08000	0.53188	0.46812
-0.91000	0.18141	0.81859	-0.41000	0.34090	0.65910	0.09000	0.53586	0.46414
-0.90000	0.18406	0.81594	-0.40000	0.34458	0.65542	0.10000	0.53983	0.46017
-0.89000	0.18673	0.81327	-0.39000	0.34827	0.65173	0.11000	0.54380	0.45620
-0.88000	0.18943	0.81057	-0.38000	0.35197	0.64803	0.12000	0.54776	0.45224
-0.87000	0.19215	0.80785	-0.37000	0.35569	0.64431	0.13000	0.55172	0.44828
-0.86000	0.19489	0.80511	-0.36000	0.35942	0.64058	0.14000	0.55567	0.44433
-0.85000	0.19766	0.80234	-0.35000	0.36317	0.63683	0.15000	0.55962	0.44038
-0.84000	0.20045	0.79955	-0.34000	0.36693	0.63307	0.16000	0.56356	0.43644
-0.83000	0.20327	0.79673	-0.33000	0.37070	0.62930	0.17000	0.56749	0.43251
-0.82000	0.20611	0.79389	-0.32000	0.37448	0.62552	0.18000	0.57142	0.42858
-0.81000	0.20897	0.79103	-0.31000	0.37828	0.62172	0.19000	0.57535	0.42465
-0.80000	0.21186	0.78814	-0.30000	0.38209	0.61791	0.20000	0.57926	0.42074
-0.79000	0.21476	0.78524	-0.29000	0.38591	0.61409	0.21000	0.58317	0.41683
-0.78000	0.21770	0.78230	-0.28000	0.38974	0.61026	0.22000	0.58706	0.41294
-0.77000	0.22065	0.77935	-0.27000	0.39358	0.60642	0.23000	0.59095	0.40905
-0.76000	0.22363	0.77637	-0.26000	0.39743	0.60257	0.24000	0.59483	0.40517
-0.75000	0.22663	0.77337	-0.25000	0.40129	0.59871	0.25000	0.59871	0.40129
-0.74000	0.22965	0.77035	-0.24000	0.40517	0.59483	0.26000	0.60257	0.39743
-0.73000	0.23269	0.76731	-0.23000	0.40905	0.59095	0.27000	0.60642	0.39358
-0.72000	0.23576	0.76424	-0.22000	0.41294	0.58706	0.28000	0.61026	0.38974
-0.71000	0.23885	0.76115	-0.21000	0.41683	0.58317	0.29000	0.61409	0.38591
-0.70000	0.24196	0.75804	-0.20000	0.42074	0.57926	0.30000	0.61791	0.38209
-0.69000	0.24510	0.75490	-0.19000	0.42465	0.57535	0.31000	0.62172	0.37828
-0.68000	0.24825	0.75175	-0.18000	0.42858	0.57142	0.32000	0.62552	0.37448
-0.67000	0.25143	0.74857	-0.17000	0.43251	0.56750	0.33000	0.62930	0.37070
-0.66000	0.25463	0.74537	-0.16000	0.43644	0.56356	0.34000	0.63307	0.36693
-0.65000	0.25785	0.74215	-0.15000	0.44038	0.55962	0.35000	0.63683	0.36317
-0.64000	0.26109	0.73891	-0.14000	0.44433	0.55567	0.36000	0.64058	0.35942
-0.63000	0.26435	0.73565	-0.13000	0.44828	0.55172	0.37000	0.64431	0.35569
-0.62000	0.26763	0.73237	-0.12000	0.45224	0.54776	0.38000	0.64803	0.35197
-0.61000	0.27093	0.72907	-0.11000	0.45620	0.54380	0.39000	0.65173	0.34827
-0.60000	0.27425	0.72575	-0.10000	0.46017	0.53983	0.40000	0.65542	0.34458
-0.59000	0.27760	0.72240	-0.09000	0.46414	0.53586	0.41000	0.65910	0.34090
-0.58000	0.28096	0.71904	-0.08000	0.46812	0.53188	0.42000	0.66276	0.33724
-0.57000	0.28434	0.71566	-0.07000	0.47210	0.52790	0.43000	0.66640	0.33360
-0.56000	0.28774	0.71226	-0.06000	0.47608	0.52392	0.44000	0.67003	0.32997
-0.55000	0.29116	0.70884	-0.05000	0.48006	0.51994	0.45000	0.67364	0.32636
-0.54000	0.29460	0.70540	-0.04000	0.48405	0.51595	0.46000	0.67724	0.32276

TABLE A.1 (CONTINUED)

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
0.47000	0.68082	0.31918	0.97000	0.83398	0.16602	1.47000	0.92922	0.07078
0.48000	0.68439	0.31561	0.98000	0.83646	0.16354	1.48000	0.93056	0.06944
0.49000	0.68793	0.31207	0.99000	0.83891	0.16109	1.49000	0.93189	0.06811
0.50000	0.69146	0.30854	1.00000	0.84134	0.15866	1.50000	0.93319	0.06681
0.51000	0.69497	0.30503	1.01000	0.84375	0.15625	1.51000	0.93448	0.06552
0.52000	0.69847	0.30153	1.02000	0.84614	0.15386	1.52000	0.93574	0.06426
0.53000	0.70194	0.29806	1.03000	0.84850	0.15150	1.53000	0.93699	0.06301
0.54000	0.70540	0.29460	1.04000	0.85083	0.14917	1.54000	0.93822	0.06178
0.55000	0.70884	0.29116	1.05000	0.85314	0.14686	1.55000	0.93943	0.06057
0.56000	0.71226	0.28774	1.06000	0.85543	0.14457	1.56000	0.94062	0.05938
0.57000	0.71566	0.28434	1.07000	0.85769	0.14231	1.57000	0.94179	0.05821
0.58000	0.71904	0.28096	1.08000	0.85993	0.14007	1.58000	0.94295	0.05705
0.59000	0.72240	0.27760	1.09000	0.86214	0.13786	1.59000	0.94406	0.05592
0.60000	0.72575	0.27425	1.10000	0.86433	0.13567	1.60000	0.94520	0.05480
0.61000	0.72907	0.27093	1.11000	0.86650	0.13350	1.61000	0.94630	0.05370
0.62000	0.73237	0.26763	1.12000	0.86864	0.13136	1.62000	0.94738	0.05262
0.63000	0.73565	0.26435	1.13000	0.87076	0.12924	1.63000	0.94845	0.05155
0.64000	0.73891	0.26109	1.14000	0.87286	0.12714	1.64000	0.94950	0.05050
0.65000	0.74215	0.25785	1.15000	0.87493	0.12507	1.65000	0.95053	0.04947
0.66000	0.74537	0.25463	1.16000	0.87698	0.12302	1.66000	0.95154	0.04846
0.67000	0.74857	0.25143	1.17000	0.87900	0.12100	1.67000	0.95254	0.04746
0.68000	0.75175	0.24825	1.18000	0.88100	0.11900	1.68000	0.95352	0.04648
0.69000	0.75490	0.24510	1.19000	0.88298	0.11702	1.69000	0.95449	0.04551
0.70000	0.75804	0.24196	1.20000	0.88493	0.11507	1.70000	0.95543	0.04457
0.71000	0.76115	0.23885	1.21000	0.88686	0.11314	1.71000	0.95637	0.04363
0.72000	0.76424	0.23576	1.22000	0.88877	0.11123	1.72000	0.95728	0.04272
0.73000	0.76731	0.23270	1.23000	0.89065	0.10935	1.73000	0.95818	0.04182
0.74000	0.77035	0.22965	1.24000	0.89251	0.10749	1.74000	0.95907	0.04093
0.75000	0.77337	0.22663	1.25000	0.89435	0.10565	1.75000	0.95994	0.04006
0.76000	0.77637	0.22363	1.26000	0.89617	0.10383	1.76000	0.96080	0.03920
0.77000	0.77935	0.22065	1.27000	0.89796	0.10204	1.77000	0.96164	0.03836
0.78000	0.78230	0.21770	1.28000	0.89973	0.10027	1.78000	0.96246	0.03754
0.79000	0.78524	0.21476	1.29000	0.90147	0.09853	1.79000	0.96327	0.03673
0.80000	0.78814	0.21186	1.30000	0.90320	0.09680	1.80000	0.96407	0.03593
0.81000	0.79103	0.20897	1.31000	0.90490	0.09510	1.81000	0.96485	0.03515
0.82000	0.79389	0.20611	1.32000	0.90658	0.09342	1.82000	0.96562	0.03438
0.83000	0.79673	0.20327	1.33000	0.90824	0.09176	1.83000	0.96638	0.03362
0.84000	0.79955	0.20045	1.34000	0.90988	0.09012	1.84000	0.96712	0.03288
0.85000	0.80234	0.19766	1.35000	0.91149	0.08851	1.85000	0.96784	0.03216
0.86000	0.80511	0.19489	1.36000	0.91309	0.08691	1.86000	0.96856	0.03144
0.87000	0.80785	0.19215	1.37000	0.91466	0.08534	1.87000	0.96926	0.03074
0.88000	0.81057	0.18943	1.38000	0.91621	0.08379	1.88000	0.96995	0.03005
0.89000	0.81327	0.18673	1.39000	0.91774	0.08226	1.89000	0.97062	0.02938
0.90000	0.81594	0.18406	1.40000	0.91924	0.08076	1.90000	0.97128	0.02872
0.91000	0.81859	0.18141	1.41000	0.92073	0.07927	1.91000	0.97193	0.02807
0.92000	0.82121	0.17879	1.42000	0.92220	0.07780	1.92000	0.97257	0.02743
0.93000	0.82381	0.17619	1.43000	0.92364	0.07636	1.93000	0.97320	0.02680
0.94000	0.82639	0.17361	1.44000	0.92507	0.07493	1.94000	0.97381	0.02619
0.95000	0.82894	0.17106	1.45000	0.92647	0.07353	1.95000	0.97441	0.02559
0.96000	0.83147	0.16853	1.46000	0.92786	0.07214	1.96000	0.97500	0.02500

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
3.47000	0.99974	0.00026	3.65000	0.99987	0.00013	3.83000	0.99994	0.00006
3.48000	0.99975	0.00025	3.66000	0.99987	0.00013	3.84000	0.99994	0.00006
3.49000	0.99976	0.00024	3.67000	0.99988	0.00012	3.85000	0.99994	0.00006
3.50000	0.99977	0.00023	3.68000	0.99988	0.00012	3.86000	0.99994	0.00006
3.51000	0.99978	0.00022	3.69000	0.99989	0.00011	3.87000	0.99995	0.00005
3.52000	0.99978	0.00022	3.70000	0.99989	0.00011	3.88000	0.99995	0.00005
3.53000	0.99979	0.00021	3.71000	0.99990	0.00010	3.89000	0.99995	0.00005
3.54000	0.99980	0.00020	3.72000	0.99990	0.00010	3.90000	0.99995	0.00005
3.55000	0.99981	0.00019	3.73000	0.99990	0.00010	3.91000	0.99995	0.00005
3.56000	0.99981	0.00019	3.74000	0.99991	0.00009	3.92000	0.99995	0.00005
3.57000	0.99982	0.00018	3.75000	0.99991	0.00009	3.93000	0.99996	0.00004
3.58000	0.99983	0.00017	3.76000	0.99992	0.00008	3.94000	0.99996	0.00004
3.59000	0.99983	0.00017	3.77000	0.99992	0.00008	3.95000	0.99996	0.00004
3.60000	0.99984	0.00016	3.78000	0.99992	0.00008	3.96000	0.99996	0.00004
3.61000	0.99985	0.00015	3.79000	0.99993	0.00007	3.97000	0.99996	0.00004
3.62000	0.99985	0.00015	3.80000	0.99993	0.00007	3.98000	0.99996	0.00004
3.63000	0.99986	0.00014	3.81000	0.99993	0.00007	3.99000	0.99997	0.00003
3.64000	0.99986	0.00014	3.82000	0.99993	0.00007	4.00000	0.99997	0.00003



3. Tabel fungsi gamma

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1.01	0.99433	1.51	0.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	0.98884	1.52	0.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	0.98355	1.53	0.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	0.97844	1.54	0.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	0.97350	1.55	0.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	0.96874	1.56	0.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	0.96415	1.57	0.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	0.95973	1.58	0.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	0.95546	1.59	0.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	0.95133	1.60	0.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	0.94740	1.61	0.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	0.94359	1.62	0.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	0.93993	1.63	0.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	0.93642	1.64	0.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	0.93304	1.65	0.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	0.92980	1.66	0.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	0.92670	1.67	0.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	0.92373	1.68	0.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	0.92089	1.69	0.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	0.91817	1.70	0.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	0.91558	1.71	0.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	0.91311	1.72	0.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	0.91075	1.73	0.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	0.90852	1.74	0.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	0.90640	1.75	0.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	0.90440	1.76	0.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	0.90250	1.77	0.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	0.90072	1.78	0.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	0.89904	1.79	0.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	0.89747	1.80	0.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	0.89600	1.81	0.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	0.89464	1.82	0.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	0.89338	1.83	0.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	0.89222	1.84	0.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	0.89115	1.85	0.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	0.89018	1.86	0.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	0.88931	1.87	0.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	0.88854	1.88	0.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	0.88785	1.89	0.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	0.88726	1.90	0.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	0.88676	1.91	0.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	0.88636	1.92	0.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	0.88604	1.93	0.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	0.88581	1.94	0.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	0.88566	1.95	0.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	0.88560	1.96	0.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	0.88563	1.97	0.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	0.88575	1.98	0.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	0.88595	1.99	0.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	0.88623	2.00	1.00000	2.50	1.32934	3.00	2.00000

4. Tabel kolmogorov-Smirnov

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

n	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,106	0,121	0,134	0,150	0,161

<https://www.scribd.com/document/332828913/tabel-K-S-pdf>