



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xxii
DAFTAR NOTASI	xxxii
DAFTAR SINGKATAN	xxxvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxxvii
INTISARI.....	xxxviii
<i>ABSTRACT</i>	xxxix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	7
C. Perumusan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian	9
E. Manfaat Penelitian	10
F. Batasan Penelitian	10
G. Program Penelitian.....	11
H. Sistematika Penulisan	13
BAB II KAJIAN PUSTAKA	15
A. Bahan Susun Lapis Perkerasan Lentur.....	15
1. Perkerasan lentur.....	15
a. Tanah dasar	16
b. Lapis fondasi bawah.....	17
c. Lapis fondasi	17
d. Lapis permukaan	18
2. Bahan susun	19
a. Aspal	20



b. Agregat.....	27
c. Aditif anti-pengelupasan	30
B. Air Banjir	33
1. Definisi air banjir	33
2. Karakteristik air banjir	34
a. pH.....	34
b. Kandungan zat padat tersuspensi	35
C. Keawetan Campuran Beraspal terhadap Air	35
1. Pengertian pengelupasan dan kerusakan akibat air.....	35
2. Keawetan campuran beraspal.....	37
a. Perendaman pada campuran beraspal	38
b. Sifat penuaan pada campuran beraspal	38
3. Faktor-faktor yang memengaruhi keawetan campuran beraspal terhadap air	40
D. Gradasi Campuran Beton Aspal.....	41
E. Kerusakan Lapis Permukaan akibat Air.....	43
1. Mekanisme kerusakan akibat air.....	43
a. Kehilangan kohesi.....	43
b. Kehilangan adhesi	44
c. Tekanan pori dan gerusan hidraulis	45
d. pH <i>instability</i>	46
e. Pengaruh lingkungan terhadap sistem agregat-aspal	46
2. Bentuk kerusakan lapis permukaan akibat air.....	47
a. <i>Stripping</i>	47
b. <i>Raveling</i>	48
c. Retak lelah (<i>fatigue cracking</i>).....	49
d. Deformasi permanen (<i>permanent deformation</i>).....	50
e. Lubang (<i>potholes</i>)	52
F. Pengujian Keawetan Campuran Beraspal terhadap Air.....	53
1. Pengujian kuat tarik tak langsung	55
2. Pengujian kuat tekan bebas	60
3. Pengujian rayapan statis.....	62
BAB III LANDASAN TEORI.....	66
A. Campuran Beton Aspal	66
B. Bahan Susun Beton Aspal.....	67



1. Agregat.....	67
2. Aspal	70
C. Perancangan Campuran Beraspal Metode Marshall	71
D. Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	75
E. Simulasi Penuaan Campuran Beraspal.....	76
1. Simulasi penuaan jangka pendek	76
2. Simulasi penuaan jangka panjang	77
F. Pengujian Permeabilitas	77
G. Pengujian Keawetan Campuran Beraspal terhadap Air	79
1. Pengujian kuat tarik tak langsung	79
2. Pengujian kuat tekan bebas	81
3. Pengujian rayapan statis	84
H. Indikator Keawetan Campuran Beraspal terhadap Air	85
1. Rasio berdasarkan pengujian kuat tarik tak langsung	87
2. Rasio berdasarkan pengujian kuat tekan bebas	87
3. Rasio berdasarkan pengujian rayapan statis	88
I. Pengujian Statistik.....	89
1. Uji t	89
a. Uji t sampel bebas	89
b. Uji t sampel tidak bebas	90
2. Nilai p.....	91
3. Uji Lilliefors.....	92
4. Uji Levene.....	92
5. <i>Analysis of Variance</i> satu arah	93
6. <i>Analysis of Variance</i> dua arah.....	94
7. Pengembangan Model Karakteristik Marshall.....	95
BAB IV METODE PENELITIAN	99
A. Tahapan Penelitian	99
1. Tahap 1: pemilihan agregat, aspal, dan air.....	99
2. Tahap 2: optimasi campuran beton aspal	100
3. Tahap 3: analisis keawetan campuran beton aspal terhadap air banjir	100
B. Peralatan Penelitian.....	104
1. Alat pengujian aspal	104
2. Alat pengujian agregat	104



3. Alat pengujian karakteristik dan permeabilitas campuran beraspal	105
4. Alat pengujian keawetan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir	108
C. Lokasi Penelitian.....	108
D. Perancangan Campuran Beton Aspal.....	108
E. Pengujian Campuran Beraspal	111
1. Optimasi campuran beraspal dengan metode Marshall	111
2. Pengondisian penuaan campuran beraspal.....	112
a. Tanpa simulasi penuaan	112
b. Simulasi penuaan jangka pendek	112
c. Simulasi penuaan jangka panjang	112
3. Pengujian keawetan campuran beraspal terhadap air.....	113
a. Pengujian kuat tarik tak langsung	113
b. Pengujian kuat tekan bebas	115
c. Pengujian rayapan statis.....	116
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	119
A. Pengujian Material dan Pemilihan Air.....	119
1. Aspal	119
2. Agregat.....	120
3. Pemilihan air banjir sebagai media perendaman.....	121
a. Pengujian sampel air banjir.....	121
b. Pengujian stabilitas Marshall rendaman.....	122
B. Optimasi dan Permeabilitas Campuran Beton Aspal	125
1. Indeks Gradasi.....	125
a. Penggunaan Indeks gradasi untuk memprediksi gradasi agregat	127
1) Pemodelan gradasi agregat.....	127
2) Penentuan gradasi agregat berdasarkan indeks gradasi ..	129
b. Batasan Indeks gradasi.....	130
2. Karakteristik Campuran Beton Aspal	130
a. Kepadatan.....	130
b. Rongga dalam agregat.....	132
c. Rongga udara dalam campuran.....	134
d. Rongga terisi aspal	136



e.	Stabilitas, Pelelehan dan Marshall <i>Quotient</i>	138
3.	Pengembangan model hubungan antara indeks gradasi dan karakteristik Marshall campuran beton aspal.....	144
a.	Model hubungan antara kadar aspal dan karakteristik Marshall campuran beton aspal.....	145
b.	Model hubungan antara indeks gradasi, dan karakteristik Marshall campuran beton aspal.....	148
c.	Model hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi, dan karakteristik campuran beton aspal	151
4.	Kadar Aspal Optimum	162
5.	Permeabilitas	165
C.	Pengembangan pengujian kuat tekan bebas dan rayapan statis	169
1.	Pengembangan pengujian kuat tekan bebas.....	169
2.	Pengembangan alat pengujian rayapan statis.....	175
D.	Keawetan Campuran Beton Aspal	177
1.	Kuat tarik campuran beton aspal.....	177
a.	Pengaruh perendaman air banjir terhadap kuat tarik campuran beton aspal.....	180
b.	Pengaruh penuaan terhadap kuat tarik campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	185
c.	Pengaruh gradasi agregat terhadap kuat tarik campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	190
d.	Pengaruh jenis aspal terhadap kuat tarik campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	191
e.	Rasio Kuat tarik sebagai indikator keawetan campuran beton aspal terhadap rendaman air banjir.....	193
2.	Kuat tekan campuran beton aspal	203
a.	Pengaruh perendaman terhadap kuat tekan campuran beton aspal.....	206
b.	Pengaruh penuaan terhadap kuat tekan campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	211
c.	Pengaruh gradasi agregat terhadap kuat tekan campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	218
d.	Pengaruh jenis aspal terhadap kuat tekan campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	218
e.	Rasio kuat tekan sebagai indikator keawetan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir.....	222
3.	Modulus elastisitas campuran beton aspal	230



a.	Pengaruh perendaman terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal.....	235
b.	Pengaruh penuaan terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	239
c.	Pengaruh gradasi agregat terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal terendam air banjir	245
d.	Pengaruh jenis aspal terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir.....	247
e.	Rasio modulus elastisitas sebagai indikator keawetan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir.....	249
4.	Campuran beton aspal yang tahan terhadap air banjir	259
a.	Keawetan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir berdasarkan gradasi agregat	259
b.	Keawetan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir berdasarkan jenis aspal.....	261
5.	Karakteristik rayapan (<i>creep</i>) pada campuran beton aspal terendam air banjir	262
a.	Kekakuan rayapan (<i>creep stiffness</i>)	263
1)	Pengaruh rendaman air banjir terhadap kekakuan rayapan dan deformasi permanen pada campuran beton aspal	265
2)	Pengaruh penuaan terhadap kekakuan rayapan pada kondisi terendam air banjir	267
3)	Pengaruh jenis aspal terhadap kekakuan rayapan pada kondisi terendam air banjir	269
b.	Pemulihan rayapan (<i>creep recovery</i>)	270
1)	Pengaruh rendaman air banjir terhadap pemulihan rayapan pada campuran beton aspal.....	271
2)	Pengaruh penuaan terhadap pemulihan rayapan campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir .	272
3)	Pengaruh jenis aspal terhadap pemulihan rayapan campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir .	273
c.	Kemiringan kurva rayapan (<i>slope of creep curve</i>).....	274
1)	Pengaruh rendaman air banjir terhadap kemiringan kurva rayapan.....	276
2)	Pengaruh penuaan campuran beton aspal terhadap kemiringan kurva rayapan pada kondisi terendam air banjir	277
3)	Pengaruh jenis aspal terhadap kemiringan kurva rayapan pada kondisi terendam air banjir	278



d.	Indikator keawetan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir berdasarkan karakteristik rayapan statis	279
1)	Rasio kekakuan rayapan sebagai indikator keawetan campuran beton aspal terhadap rendaman air banjir	279
2)	Rasio pemulihan rayapan sebagai indikator keawetan campuran beton aspal terhadap rendaman air banjir	281
3)	Rasio kemiringan kurva rayapan sebagai indikator keawetan campuran beton aspal terhadap rendaman air banjir	283
6.	Sintesis penelitian	285
a.	Indeks Gradasi	285
b.	Karakteristik air banjir sebagai media perendaman	286
c.	Rangkaian waktu pengondisian perendaman air banjir	287
d.	Pengembangan pengujian kuat tekan bebas	288
e.	Karakteristik campuran beton aspal akibat rendaman air banjir	289
1)	Kuat tarik campuran beton aspal akibat rendaman air banjir	289
2)	Kuat tekan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir	289
3)	Modulus elastisitas campuran beton aspal akibat rendaman air banjir	290
4)	Karakteristik rayapan akibat rendaman air banjir	291
f.	Gradasi optimum campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir	291
g.	Jenis aspal pada campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir	291
h.	Penuaan pada campuran beton aspal pada kondisi terendam air banjir	292
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		293
A.	Kesimpulan	293
1.	Pemeriksaan material dan pemilihan air banjir	293
2.	Pengembangan Indeks gradasi pada campuran beton aspal	293
a.	Aspek teoretis	293
b.	Aspek eksperimental	294
3.	Pengaruh penuaan pada campuran beton aspal terendam air banjir	294
4.	Pengembangan pengujian kuat tekan bebas	294



a.	Pengembangan alat kuat tekan bebas.....	295
b.	Kuat tekan campuran beton aspal terendam air banjir.....	295
c.	Modulus elastisitas campuran beton aspal terendam air banjir	296
5.	Model hubungan antara indeks keawetan (DI) dan indeks gradasi (GI).....	296
6.	Gradasi optimum yang tahan rendaman air banjir	297
7.	Karakteristik rayapan statis pada campuran beton aspal terendam air banjir	297
B.	Saran.....	298
1.	Saran untuk penelitian selanjutnya.....	298
2.	Saran untuk implementasi hasil penelitian.....	300
	DAFTAR PUSTAKA	301



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nama lapisan struktur jalan dan nama bahan konstruksi.....	16
Tabel 2.2	Keuntungan penggunaan beberapa tipe <i>modifiers</i>	21
Tabel 2.3	Hubungan antara mineralogi agregat dan keawetan terhadap kerusakan kelembaban	27
Tabel 2.4	Karakteristik campuran beraspal dan komponen yang memengaruhi keawetannya terhadap kelembaban.....	40
Tabel 2.5	Kondisi lingkungan selama dan setelah konstruksi dan prosedur konstruksi yang memengaruhi keawetan terhadap kelembaban	41
Tabel 2.6	Metode pengujian yang digunakan oleh beberapa peneliti.....	58
Tabel 3.1	Ketentuan sifat-sifat campuran beton aspal lapis aus	66
Tabel 3.2	Persyaratan gradasi dan target gradasi beton aspal lapis aus.....	67
Tabel 3.3	Ketentuan agregat kasar	68
Tabel 3.4	Ketentuan agregat halus	68
Tabel 3.5	Toleransi komposisi agregat dalam campuran beraspal	70
Tabel 3.6	Ketentuan aspal keras	70
Tabel 3.7	Klasifikasi nilai permeabilitas untuk campuran beraspal	77
Tabel 3.8	Faktor koreksi rasio tinggi terhadap diameter pada benda uji	83
Tabel 3.9	Analisis variansi untuk percobaan dua faktor tanpa replikasi.....	94
Tabel 4.1	Target gradasi beton aspal lapis aus.....	109
Tabel 4.2	Rancangan bahan susun benda uji UCS.....	110
Tabel 4.3	Perincian jumlah benda uji.....	111
Tabel 4.4	Estimasi kebutuhan material	111
Tabel 5.1	Hasil pengujian sifat fisik AC 60/70.....	119
Tabel 5.2	Hasil pengujian sifat fisik AME.....	120
Tabel 5.3	Hasil pengujian sifat fisik agregat.....	120
Tabel 5.4	Hasil pengukuran pH dan TSS air banjir	121
Tabel 5.5	Hasil pengujian Lilliefors pada pH sampel air banjir	122
Tabel 5.6	Hasil pengujian Marshall rendaman pada beton aspal AC 60/70	123
Tabel 5.7	Hasil pengujian Marshall rendaman pada beton aspal AME	123
Tabel 5.8	Hasil pengujian Lilliefors benda uji Marshall untuk pemilihan air banjir	124
Tabel 5.9	Hasil pengujian ANOVA satu arah untuk mengetahui pengaruh lokasi sampel air terhadap penggunaan aspal	125
Tabel 5.10	Nilai GI dan GR pada setiap jenis gradasi	126



Tabel 5.11	Konstanta untuk setiap jenis gradasi agregat	128
Tabel 5.12	Kepadatan beton aspal untuk setiap jenis gradasi dan aspal.....	131
Tabel 5.13	VMA beton aspal untuk setiap jenis gradasi dan aspal.....	133
Tabel 5.14	VIM beton aspal untuk setiap jenis gradasi dan aspal	135
Tabel 5.15	VFA beton aspal untuk setiap jenis gradasi dan aspal	137
Tabel 5.16	Stabilitas beton aspal untuk setiap jenis gradasi dan aspal	139
Tabel 5.17	Pelelehan beton aspal untuk setiap jenis gradasi dan aspal	141
Tabel 5.18	Marshall <i>Quotient</i> beton aspal untuk setiap jenis gradasi dan aspal	143
Tabel 5.19	Model hubungan antara kadar aspal dan karakteristik Marshall campuran beton aspal AC 60/70.....	146
Tabel 5.20	Model hubungan antara kadar aspal dan karakteristik Marshall campuran beton aspal AME.....	147
Tabel 5.21	Model hubungan antara indeks gradasi dan karakteristik Marshall campuran beton aspal AC 60/70.....	148
Tabel 5.22	Model hubungan antara indeks gradasi dan karakteristik Marshall campuran beton aspal AME.....	150
Tabel 5.23	Model hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi, dan karakteristik campuran beton aspal AC 60/70	151
Tabel 5.24	Model hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi, dan karakteristik campuran beton aspal AME.....	152
Tabel 5.25	Kadar aspal optimum (% campuran)	163
Tabel 5.26	Karakteristik untuk semua jenis gradasi agregat dan jenis aspal	163
Tabel 5.27	Hubungan antara kadar aspal optimum dan indeks gradasi.....	164
Tabel 5.28	Permeabilitas rata-rata (k) dan VIM rata-rata campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi	165
Tabel 5.29	Permeabilitas rata-rata (k) dan VIM rata-rata campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi.....	165
Tabel 5.30	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan jenis aspal terhadap nilai permeabilitas	167
Tabel 5.31	Hasil pengujian ANOVA untuk faktor penuaan dan jenis aspal terhadap nilai permeabilitas campuran beton aspal	168
Tabel 5.32	VIM benda uji UCS pada variasi gradasi beton aspal AC 60/70	172
Tabel 5.33	VIM benda uji UCS pada variasi gradasi beton aspal AME.....	173
Tabel 5.34	Kuat tarik rata-rata (S) dan rasio kuat tarik (TSR) campuran beton aspal AC 60/70 <i>original</i>	178
Tabel 5.35	Kuat tarik rata-rata (S) dan rasio kuat tarik (TSR) campuran beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA	178



Tabel 5.36	Kuat tarik rata-rata (S) dan rasio kuat tarik (TSR) campuran beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA.....	178
Tabel 5.37	Kuat tarik rata-rata (S) dan rasio kuat tarik (TSR) campuran beton aspal AME <i>original</i>	179
Tabel 5.38	Kuat tarik rata-rata (S) dan rasio kuat tarik (TSR) campuran beton aspal AME pengondisian STOA.....	179
Tabel 5.39	Kuat tarik rata-rata (S) dan rasio kuat tarik (TSR) campuran beton aspal AME pengondisian LTOA.....	179
Tabel 5.40	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan lama perendaman terhadap kuat tarik campuran beton aspal	184
Tabel 5.41	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan lama penuaan terhadap kuat tarik campuran beton aspal	189
Tabel 5.42	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap kuat tarik campuran beton aspal selama perendaman	193
Tabel 5.43	Indikator keawetan beton aspal AC 60/70 <i>original</i> , STOA dan LTOA serta lama perendaman ERS berdasarkan nilai kuat tarik selama terendam air banjir	199
Tabel 5.44	Indikator keawetan beton aspal AME <i>original</i> , STOA dan LTOA serta lama perendaman ERS berdasarkan nilai kuat tarik selama terendam air banjir	199
Tabel 5.45	Hubungan antara indeks keawetan -kuat tarik (DI-ITS) dan indeks gradasi (GI).....	200
Tabel 5.46	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan penuaan terhadap ERS-ITS.....	201
Tabel 5.47	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap ERS-ITS	202
Tabel 5.48	Kuat tekan rata-rata (σ) dan rasio kuat tekan (CR) campuran beton aspal AC 60/70 <i>original</i>	204
Tabel 5.49	Kuat tekan rata-rata (σ) dan rasio kuat tekan (CR) campuran beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA	204
Tabel 5.50	Kuat tekan rata-rata (σ) dan rasio kuat tekan (CR) campuran beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA.....	204
Tabel 5.51	Kuat tekan rata-rata (σ) dan rasio kuat tekan (CR) campuran beton aspal AME <i>original</i>	205
Tabel 5.52	Kuat tekan rata-rata (σ) dan rasio kuat tekan (CR) campuran beton aspal AME pengondisian STOA.....	205



Tabel 5.53	Kuat tekan rata-rata (σ) dan rasio kuat tekan (CR) campuran beton aspal AME pengondisian LTOA.....	206
Tabel 5.54	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan lama perendaman terhadap kuat tekan campuran beton aspal	207
Tabel 5.55	Perubahan nilai kuat tekan antar variasi penuaan pada benda uji kering untuk jenis gradasi dan jenis aspal.....	211
Tabel 5.56	Perubahan nilai kuat tekan antara AC 60/70 dan AME pada benda uji kering untuk variasi penuaan dan jenis gradasi.....	212
Tabel 5.57	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan penuaan terhadap kuat tekan campuran beton aspal	217
Tabel 5.58	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap kuat tekan campuran beton aspal selama perendaman	221
Tabel 5.59	Indikator keawetan beton aspal, ERS beton aspal AC 60/70 <i>original</i> , STOA dan LTOA serta lama perendaman ERS berdasarkan nilai kuat tekan selama terendam air banjir	223
Tabel 5.60	Indikator keawetan, ERS beton aspal AME <i>original</i> , STOA dan LTOA serta lama perendaman ERS berdasarkan nilai kuat tekan selama terendam air banjir.....	223
Tabel 5.61	Hubungan antara indeks keawetan-kuat tekan (DI-C) dan indeks gradasi (GI).....	227
Tabel 5.62	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan penuaan terhadap ERS-C.....	228
Tabel 5.63	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap ERS-C	228
Tabel 5.64	Modulus elastisitas rata-rata (E) dan rasio modulus elastisitas (ER) beton aspal AC 60/70 <i>original</i>	233
Tabel 5.65	Modulus elastisitas rata-rata (E) dan rasio modulus elastisitas (ER) beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA	233
Tabel 5.66	Modulus elastisitas rata-rata (E) dan rasio modulus elastisitas (ER) beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA	233
Tabel 5.67	Modulus elastisitas rata-rata (E) dan rasio modulus elastisitas (ER) beton aspal AME <i>original</i>	234
Tabel 5.68	Modulus elastisitas rata-rata (E) dan rasio modulus elastisitas (ER) beton aspal AME pengondisian STOA	234
Tabel 5.69	Modulus elastisitas rata-rata (E) dan rasio modulus elastisitas (ER) beton aspal AME pengondisian LTOA	235
Tabel 5.70	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan lama perendaman terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal.....	236



Tabel 5.71	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan penuaan terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal	246
Tabel 5.72	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal selama perendaman	250
Tabel 5.73	Indikator keawetan beton aspal AC 60/70 <i>original</i> , STOA dan LTOA serta lama perendaman ERS berdasarkan modulus elastisitas selama terendam air banjir.....	251
Tabel 5.74	Indikator keawetan beton aspal AME <i>original</i> , STOA dan LTOA serta lama perendaman ERS berdasarkan modulus elastisitas selama terendam air banjir.....	251
Tabel 5.75	Hubungan antara indeks keawetan-modulus elastisitas (DI-E) dan indeks gradasi (GI).....	256
Tabel 5.76	Hasil pengujian ANOVA dua mengetahui pengaruh jenis gradasi dan penuaan terhadap ERS-E.....	256
Tabel 5.77	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap ERS-E	257
Tabel 5.78	Peringkat keawetan terhadap air banjir untuk beton aspal AC60/70	259
Tabel 5.79	Peringkat keawetan terhadap air banjir untuk beton aspal AME	259
Tabel 5.80	Gradasi optimum dengan keawetan campuran beton aspal terhadap air banjir	260
Tabel 5.81	Perbandingan nilai ERS tertinggi antara penggunaan aspal AC 60/70 dan AME	262
Tabel 5.82	Kekakuan rayapan rata-rata (MPa) beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir	265
Tabel 5.83	Kedalaman alur (Rd, mm) beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan dan perendaman air banjir.....	267
Tabel 5.84	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh lama perendaman dan penuaan terhadap kekakuan rayapan campuran beton aspal.....	267
Tabel 5.85	<i>Creep stiffness</i> (Cs) dan ECs beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan selama perendaman air banjir.....	269
Tabel 5.86	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap kekakuan rayapan campuran beton aspal.....	270
Tabel 5.87	Pemulihan rayapan rata-rata (CRec) beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir	270
Tabel 5.88	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh lama perendaman dan penuaan terhadap pemulihan rayapan campuran beton aspal.....	272



Tabel 5.89	<i>Creep recovery</i> (CRec) dan ECRec beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan selama perendaman air banjir .	273
Tabel 5.90	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap kekakuan rayapan campuran beton aspal.....	274
Tabel 5.91	Kemiringan rayapan rata-rata atau Cc (mm/mm/detik) beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir	275
Tabel 5.92	Hasil pengujian ANOVA untuk mengetahui pengaruh lama perendaman dan penuaan terhadap Cc campuran beton aspal	276
Tabel 5.93	ECc beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan selama perendaman air banjir	278
Tabel 5.94	Hasil pengujian ANOVA satu faktor untuk mengetahui pengaruh jenis aspal terhadap Cc campuran beton aspal.....	279
Tabel 5.95	Rasio kekakuan rayapan (CsR) beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir	280
Tabel 5.96	ERS-Cs beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir.....	281
Tabel 5.97	Rasio pemulihan rayapan (CRecR) beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir	282
Tabel 5.98	ERS-CRec beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir.....	283
Tabel 5.99	Rasio kemiringan kurva rayapan (CcR) beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi penuaan serta perendaman air banjir	284



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Banjir dan kerusakan jalan akibat banjir: (a) Banjir di Jalan Daan Mogot, Cengkareng, Jakarta Barat, dan (b) Kerusakan jalan di jalur utama Pantai Utara Jawa.....	3
Gambar 2.1.	Struktur dasar dan distribusi tegangan pada lapisan perkerasan lentur	15
Gambar 2.2.	Tegangan tarik dan tekan yang terjadi pada struktur perkerasan lentur akibat beban statis roda kendaraan	19
Gambar 2.3.	Suhu pencampuran dan pemadatan untuk jenis dan kadar <i>modifier crumb rubber</i> (CR), <i>styrene butadiene styrene</i> (SBS), AME dan AC 60/70 sebagai kontrol (<i>base</i>).....	22
Gambar 2.4.	Pengaruh <i>hydrated lime</i> pada permukaan agregat	23
Gambar 2.5.	Representasi skema jaringan tiga dimensi kopolimer SBS dalam bitumen-polimer pada suhu ruang.....	24
Gambar 2.6.	Representasi ikatan SBS-S-SBS dalam aspal	25
Gambar 2.7.	Pengaruh aditif pada (a) rasio stabilitas Marshall (b) rasio kuat tarik tak langsung	32
Gambar 2.8.	Cara masuknya air ke struktur lapis perkerasan.....	37
Gambar 2.9.	Ilustrasi emulsifikasi spontan (a) air dalam aspal tanpa pengemulsi dan (b) clay sebagai pengemulsi.....	44
Gambar 2.10.	Skema pendekatan terhadap kerusakan akibat air pada perkerasan beraspal	45
Gambar 2.11.	Skema proses kerusakan akibat air secara fisik (a) hilangnya <i>mastic</i> karena <i>advective transport</i> , (b) rusaknya ikatan karena difusi air	45
Gambar 2.12.	Tekanan pori pada campuran beraspal.....	46
Gambar 2.13.	Kerusakan <i>stripping</i> pada perkerasan	48
Gambar 2.14.	Kerusakan jenis <i>raveling</i>	49
Gambar 2.15.	Kerusakan retak lelah pada perkerasan.....	50
Gambar 2.16.	Kerusakan alur (<i>rutting</i>) akibat campuran beraspal yang lemah	51
Gambar 2.17.	Kerusakan lubang.....	52
Gambar 2.18.	Bagan alir identifikasi kerusakan akibat kelembaban.....	53
Gambar 2.19.	Pengujian kuat tarik tak langsung pada benda uji kering dan dikondisikan sesuai dengan AASHTO T283	56
Gambar 2.20.	Hubungan derajat kejenuhan dengan rongga udara	57
Gambar 2.21.	Pola umum kurva tegangan-regangan: 1, domain cekungan; 2, domain linier; 3, domain kenaikan non linier; 4, domain puncak; dan 5, bagian penurunan.....	61



Gambar 2.22.	Peralatan pengujian kuat tekan (a) tampak depan dan tampak atas.....	62
Gambar 2.23.	(a) Tiga tahapan dalam rayapan, dan (b) respons regangan pada material <i>viscoelastic</i>	63
Gambar 2.24.	Pola pembebanan pada pengujian rayapan statis	64
Gambar 3.1.	Ilustrasi rentang gradasi agregat beton aspal lapis aus.....	69
Gambar 3.2.	Diagram komponen dalam rancangan campuran beraspal.....	73
Gambar 3.3.	Cetakan untuk peletakan benda uji pada pengukuran permeabilitas dengan alat AF-16	79
Gambar 3.4.	Distribusi tegangan pada benda uji pengujian kuat tarik tak langsung	80
Gambar 3.5.	(a) Pembebanan pada saat pengujian ITS, dan (b) tipikal keruntuhan benda uji ITS.....	81
Gambar 3.6.	Metode untuk menentukan modulus Young dari kurva tegangan	82
Gambar 3.7.	Skema peletakan benda uji pada pengujian kuat tekan bebas..	83
Gambar 3.8.	Tipikal rayapan statis benda uji beraspal pada suhu 25 °C.....	85
Gambar 3.9.	Bagan kurva keawetan	87
Gambar 3.10.	Respon permukaan dan grafik kontur pada permukaan yang memiliki nilai minimum.....	98
Gambar 4.1.	Kerangka pikir penelitian.....	101
Gambar 4.2.	Bagan alir Tahap 1: (a) pemeriksaan sifat fisik agregat dan aspal, dan (b) pemilihan media perendaman.....	103
Gambar 4.3.	Bagan alir Tahap 2: penentuan kadar aspal optimum dan pengukuran permeabilitas	105
Gambar 4.4.	Bagan alir Tahap 3: pengondisian dan pengujian keawetan campuran beton aspal akibat rendaman air banjir....	106
Gambar 4.5.	Target gradasi beton aspal.....	109
Gambar 4.6.	Komposisi ukuran agregat target gradasi campuran beton aspal	110
Gambar 4.7.	Skema beban dan waktu pembebanan pada pengujian rayapan statis.....	118
Gambar 5.1.	Stabilitas Marshall rendaman dari beberapa lokasi pengambilan sampel air banjir	124
Gambar 5.2.	Ilustrasi perhitungan Indeks Gradasi pada gradasi nilai tengah (MR) spesifikasi Ditjen Bina Marga (2014).	126
Gambar 5.3.	Hubungan antara indeks gradasi dan <i>Gradation Ratio</i>	127
Gambar 5.4.	Hubungan antara indeks gradasi dan konstanta <i>a</i>	128
Gambar 5.5.	Hubungan antara indeks gradasi dan konstanta <i>b</i>	129



Gambar 5.6.	Hubungan antara kadar aspal dan kepadatan pada beton aspal AC 60/70	131
Gambar 5.7.	Hubungan antara kadar aspal dan kepadatan pada beton aspal AME	132
Gambar 5.8.	Hubungan antara kadar aspal dan VMA pada beton aspal AC 60/70	133
Gambar 5.9.	Hubungan antara kadar aspal dan VMA pada beton aspal AME	134
Gambar 5.10.	Hubungan antara kadar aspal dan VIM pada beton aspal AC 60/70	135
Gambar 5.11.	Hubungan antara kadar aspal dan VIM pada beton aspal AME	136
Gambar 5.12.	Hubungan antara kadar aspal dan VFA pada beton aspal AC 60/70	137
Gambar 5.13.	Hubungan antara kadar aspal dan VFA pada beton aspal AME	138
Gambar 5.14.	Hubungan antara kadar aspal dan stabilitas pada beton aspal AC 60/70	140
Gambar 5.15.	Hubungan antara kadar aspal dan stabilitas pada beton aspal AME	140
Gambar 5.16.	Hubungan antara kadar aspal dan pelelehan pada beton aspal AC 60/70	141
Gambar 5.17.	Hubungan antara kadar aspal dan pelelehan pada beton aspal AME	142
Gambar 5.18.	Hubungan antara kadar aspal dan MQ pada beton aspal AC 60/70	143
Gambar 5.19.	Hubungan antara kadar aspal dan MQ pada beton aspal AME	144
Gambar 5.20.	Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan kepadatan pada beton aspal AC 60/70	152
Gambar 5.21.	Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan VMA pada beton aspal AC 60/70	153
Gambar 5.22.	Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan VIM pada beton aspal AC 60/70	153
Gambar 5.23.	Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan VFA pada beton aspal AC 60/70	154
Gambar 5.24.	Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan stabilitas pada beton aspal AC 60/70	154
Gambar 5.25.	Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan pelelehan pada beton aspal AC 60/70	155
Gambar 5.26.	Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan kepadatan pada beton aspal AME	155



Gambar 5.27. Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan VMA pada beton aspal AME.....	156
Gambar 5.28. Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan VIM pada beton aspal AME.....	156
Gambar 5.29. Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan VFA pada beton aspal AME.....	157
Gambar 5.30. Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan stabilitas pada beton aspal AME	157
Gambar 5.31. Hubungan antara kadar aspal, indeks gradasi dan pelelehan pada beton aspal AME	158
Gambar 5.32. Korelasi antara (a) kepadatan terukur dan terhitung, (b) VMA terukur dan terhitung, (c) VIM terukur dan terhitung, (d) VFA terukur dan terhitung, (e) Stabilitas terukur dan terhitung dan (f) Pelelehan terukur dan terhitung, pada beton aspal AC 60/70	160
Gambar 5.33. Korelasi antara (a) kepadatan terukur dan terhitung, (b) VMA terukur dan terhitung, (c) VIM terukur dan terhitung, (d) VFA terukur dan terhitung, (e) Stabilitas terukur dan terhitung dan (f) Pelelehan terukur dan terhitung, pada beton aspal AME.....	161
Gambar 5.34. Hubungan antara kadar aspal optimum dan indeks gradasi.....	164
Gambar 5.35. Hubungan antara VIM dan permeabilitas pada beton aspal dengan AC 60/70 dan AME.....	167
Gambar 5.36. Peralatan untuk membuat benda uji UCS	171
Gambar 5.37. Pemasangan ring dan dial pada benda uji UCS serta peletakan benda uji pada mesin penekan.....	172
Gambar 5.38. Tampilan antarmuka program delta dimensi.....	174
Gambar 5.39. Perlengkapan peralatan pengujian UCS.....	175
Gambar 5.40. Perlengkapan peralatan pengujian rayapan statis: (a) mesin pengujian, (b) benda uji setelah <i>dicapping</i> dan dikontrol dengan <i>bubble level</i> , (c) penempatan benda uji pada mesin rayapan statis, dan (d) komputer dan perlengkapan untuk pembacaan deformasi.....	176
Gambar 5.41. Kuat tarik untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 <i>original</i> selama perendaman 7 hari	181
Gambar 5.42. Kuat tarik untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA selama perendaman 7 hari	181
Gambar 5.43. Kuat tarik untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA selama perendaman 7 hari	182
Gambar 5.44. Kuat tarik untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME <i>original</i> selama perendaman 7 hari	182



Gambar 5.45. Kuat tarik untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian STOA selama perendaman 7 hari	183
Gambar 5.46. Kuat tarik untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian LTOA selama perendaman 7 hari	183
Gambar 5.47. Kuat tarik campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada kondisi kering	186
Gambar 5.48. Kuat tarik campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 1 hari	186
Gambar 5.49. Kuat tarik campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 2 hari	186
Gambar 5.50. Kuat tarik campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 4 hari	187
Gambar 5.51. Kuat tarik campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 7 hari	187
Gambar 5.52. Kuat tarik campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada kondisi kering	187
Gambar 5.53. Kuat tarik campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 1 hari	188
Gambar 5.54. Kuat tarik campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 2 hari	188
Gambar 5.55. Kuat tarik campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 4 hari	188
Gambar 5.56. Kuat tarik campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 7 hari	189
Gambar 5.57. Hubungan antara kuat tarik campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi UL	191
Gambar 5.58. Hubungan antara kuat tarik campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi UM	191
Gambar 5.59. Hubungan antara kuat tarik campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi MR.....	192
Gambar 5.60. Hubungan antara kuat tarik campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi ML.....	192
Gambar 5.61. Hubungan antara kuat tarik campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi LL.....	192
Gambar 5.62. Penentuan kekuatan sisa ekuivalen campuran beraspal	194
Gambar 5.63. Kuat tarik sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 <i>original</i>	195
Gambar 5.64. Kuat tarik sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA	196



Gambar 5.65. Kuat tarik sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA	196
Gambar 5.66. Kuat tarik sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME <i>original</i>	197
Gambar 5.67. Kuat tarik sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian STOA	197
Gambar 5.68. Kuat tarik sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian LTOA	198
Gambar 5.69. Hubungan antara indeks gradasi dan kuat tarik sisa ekuivalen (ERS-ITS) untuk setiap jenis gradasi beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi <i>original</i> , STOA, dan LTOA	202
Gambar 5.70. Hubungan antara indeks gradasi dan indeks keawetan-kuat tarik (DI-ITS) untuk setiap jenis gradasi beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi <i>original</i> , STOA, dan LTOA	203
Gambar 5.71. Kuat tekan untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 <i>original</i> selama perendaman 7 hari	208
Gambar 5.72. Kuat tekan untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA selama perendaman 7 hari	208
Gambar 5.73. Kuat tekan untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA selama perendaman 7 hari	209
Gambar 5.74. Kuat tekan untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME <i>original</i> selama perendaman 7 hari	209
Gambar 5.75. Kuat tekan untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian STOA selama perendaman 7 hari	210
Gambar 5.76. Kuat tekan untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian LTOA selama perendaman 7 hari	210
Gambar 5.77. Tipikal kerusakan benda uji kuat tekan campuran beton aspal	212
Gambar 5.78. Kuat tekan campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada kondisi kering	213
Gambar 5.79. Kuat tekan campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 1 hari	213
Gambar 5.80. Kuat tekan campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 2 hari	214
Gambar 5.81. Kuat tekan campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 4 hari	214
Gambar 5.82. Kuat tekan campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 7 hari	214
Gambar 5.83. Kuat tekan campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada kondisi kering	215
Gambar 5.84. Kuat tekan campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 1 hari	215



Gambar 5.85. Kuat tekan campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 2 hari.....	215
Gambar 5.86. Kuat tekan campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 4 hari.....	216
Gambar 5.87. Kuat tekan campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 7 hari.....	216
Gambar 5.88. Hubungan antara kuat tekan campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi UL	219
Gambar 5.89. Hubungan antara kuat tekan campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi UM	219
Gambar 5.90. Hubungan antara kuat tekan campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi MR.....	219
Gambar 5.91. Hubungan antara kuat tekan campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi ML.....	220
Gambar 5.92. Hubungan antara kuat tekan campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi LL.....	220
Gambar 5.93. Kuat tekan sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal <i>original</i> dengan AC 60/70.....	224
Gambar 5.94. Kuat tekan sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal pengondisian STOA dengan AC 60/70.....	225
Gambar 5.95. Kuat tekan sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal pengondisian LTOA dengan AC 60/70.....	225
Gambar 5.96. Kuat tekan sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal <i>original</i> dengan AME	226
Gambar 5.97. Kuat tekan sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal pengondisian STOA dengan AME.....	226
Gambar 5.98. Kuat tekan sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal pengondisian LTOA dengan AME	227
Gambar 5.99. Hubungan antara indeks gradasi dan kuat tekan sisa ekuivalen (ERS-C) untuk setiap jenis gradasi beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi <i>original</i> , STOA, dan LTOA.....	229
Gambar 5.100. Hubungan antara indeks gradasi dan indeks keawetan-kuat tekan (DI-C) untuk setiap jenis gradasi beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi <i>original</i> , STOA, dan LTOA	230
Gambar 5.101. Tipikal kurva hubungan antara tegangan aksial dan regangan aksial hasil pengujian kuat tekan bebas pada suhu 25 °C dan posisi nilai tegangan-regangan untuk menentukan modulus elastisitas campuran beraspal	231
Gambar 5.102. Modulus elastisitas untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 <i>original</i> selama perendaman 7 hari	236



Gambar 5.103.	Modulus elastisitas untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA selama perendaman 7 hari ...	237
Gambar 5.104.	Modulus elastisitas untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA selama perendaman 7 hari ...	237
Gambar 5.105.	Modulus elastisitas untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME <i>original</i> selama perendaman 7 hari.....	238
Gambar 5.106.	Modulus elastisitas untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian STOA selama perendaman 7 hari.	238
Gambar 5.107.	Modulus elastisitas untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian LTOA selama perendaman 7 hari.	239
Gambar 5.108.	Perbandingan ketebalan benang pada pengujian daktilitas aspal AC 60/70 dan AME	241
Gambar 5.109.	Skema tegangan-regangan yang merepresentasikan perilaku material <i>brittle</i> atau <i>ductile</i>	241
Gambar 5.110.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada kondisi kering.....	242
Gambar 5.111.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 1 hari.....	242
Gambar 5.112.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 2 hari.....	242
Gambar 5.113.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 4 hari.....	243
Gambar 5.114.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AC 60/70 untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 7 hari.....	243
Gambar 5.115.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada kondisi kering.....	243
Gambar 5.116.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 1 hari	244
Gambar 5.117.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 2 hari	244
Gambar 5.118.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 4 hari	244
Gambar 5.119.	Modulus elastisitas campuran beton aspal AME untuk setiap jenis gradasi dan penuaan pada perendaman 7 hari	245
Gambar 5.120.	Hubungan antara modulus elastisitas campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi UL.....	248
Gambar 5.121.	Hubungan antara modulus elastisitas campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi UM.....	248
Gambar 5.122.	Hubungan antara modulus elastisitas campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi MR.....	248



Gambar 5.123.	Hubungan antara modulus elastisitas campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi ML	249
Gambar 5.124.	Hubungan antara modulus elastisitas campuran beton aspal dan lama perendaman pada jenis gradasi LL	249
Gambar 5.125.	Modulus elastisitas sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 <i>original</i>	252
Gambar 5.126.	Modulus elastisitas sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian STOA	253
Gambar 5.127.	Modulus elastisitas sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AC 60/70 pengondisian LTOA	253
Gambar 5.128.	Modulus elastisitas sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME <i>original</i>	254
Gambar 5.129.	Modulus elastisitas sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian STOA	254
Gambar 5.130.	Modulus elastisitas sisa untuk setiap jenis gradasi pada beton aspal AME pengondisian LTOA	255
Gambar 5.131.	Hubungan antara indeks gradasi dan modulus elastisitas sisa ekuivalen (ERS-E) untuk setiap jenis gradasi beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi <i>original</i> , STOA, dan LTOA	258
Gambar 5.132.	Hubungan antara indeks gradasi dan indeks keawetan-modulus elastisitas (DI-E) untuk setiap jenis gradasi beton aspal AC 60/70 dan AME pada kondisi <i>original</i> , STOA, dan LTOA	258
Gambar 5.133.	Rentang gradasi optimum (GI=21,53 - 27,29%) yang memberikan keawetan terbaik terhadap air banjir	260
Gambar 5.134.	Contoh hubungan antara regangan vertikal dan waktu pembebanan pada beton aspal AC 60/70 pada kondisi kering	263
Gambar 5.135.	Jenis campuran beton aspal dan nilai <i>creep stiffness</i> pada kondisi <i>original</i>	265
Gambar 5.136.	Hubungan antara <i>creep stiffness</i> dan lama perendaman pada jenis aspal AC 60/70 dan AME serta pengondisian penuaan <i>original</i> , STOA dan LTOA	268
Gambar 5.137.	Hubungan antara <i>creep recovery</i> dan lama perendaman pada jenis aspal AC 60/70 dan AME serta pengondisian penuaan <i>original</i> , STOA dan LTOA	272
Gambar 5.138.	Contoh penentuan kemiringan rayapan berdasarkan regresi linier	276
Gambar 5.139.	Hubungan antara <i>slope of creep curve</i> dan lama perendaman pada jenis aspal AC 60/70 dan AME serta pengondisian penuaan <i>original</i> , STOA dan LTOA	277



- Gambar 5.140. Hubungan antara kekakuan rayapan sisa dan lama perendaman pada beton aspal AC 60/70 dan AME serta pengondisian penuaan *original*, STOA dan LTOA..... 280
- Gambar 5.141. Hubungan antara pemulihan rayapan sisa dan lama perendaman pada beton aspal AC 60/70 dan AME serta pengondisian penuaan *original*, STOA dan LTOA..... 282
- Gambar 5.142. Hubungan antara *slope of creep curve* sisa dan lama perendaman pada beton aspal AC 60/70 dan AME serta pengondisian penuaan *original*, STOA dan LTOA 284



DAFTAR NOTASI

$S_{\bar{D}}$	=	standar galat antara dua rata-rata sampel berpasangan
$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$	=	perbedaan standar galat antar nilai rata-rata
$S_{\bar{X}_1}$	=	standar galat dari rata-rata sampel pertama
$S_{\bar{X}_2}$	=	standar galat dari rata-rata sampel kedua
\bar{X}_1	=	nilai rata-rata sampel pertama
\bar{X}_2	=	nilai rata-rata sampel kedua
μ	=	nilai rata-rata populasi
y_i	=	nilai sampel ke i
\bar{y}	=	nilai sampel rata-rata
\hat{y}_i	=	jarak antara sampel ke i dengan garis regresi
Δ	=	delta atau perubahan pada tegangan atau regangan
η	=	eta atau viskositas bitumen (Ns/m ²)
ϵ_v	=	epsilon v atau regangan vertikal (% , mm/mm, microstrain)
\bar{d}	=	deformasi vertikal rata-rata (mm)
Y_{ij}	=	respons variabel
γ	=	gamma atau berat unit cairan (g/cm ³)
Δp	=	tekanan cairan yang melewati benda uji (g/cm ²)
δv	=	delta v atau deformasi vertikal (mm)
ϵ_{v-R}	=	regangan vertikal yang dapat dipulihkan (mm/mm, microstrain)
ϵ_{v-tot}	=	regangan vertikal total (mm/mm, microstrain)
σ	=	Kuat tekan atau tegangan (N/mm ² , MPa)
σ_{avg}	=	tegangan rata-rata pada perkerasan oleh beban roda (MPa)
σ_1	=	kuat tekan rata-rata benda uji kering (MPa)
σ_2	=	kuat tekan rata-rata benda uji basah (MPa)
S_D	=	standar deviasi dua nilai rata-rata sampel bebas
s^2	=	varian sampel
\bar{X}_a	=	nilai rata-rata sebelum perlakuan
\bar{X}_k	=	nilai rata-rata sesudah perlakuan
Z_{ij}	=	Selisih absolut respons variabel terhadap nilai rata-rata dari kelompok i
\bar{Y}_i	=	nilai rata-rata dari kelompok ke i
\bar{Z}_i	=	rata-rata Z_{ij} untuk kelompok i
$\bar{Z}_{..}$	=	Z_{ij} rata-rata
A	=	luas kurva kekuatan (persen ukuran kekuatan/hari)
a	=	indeks keawetan (%)
a_{08}	=	persen agregat tertahan saringan No.8 (%)
a_b	=	luas penampang benda uji (cm ²)
a_{ij}	=	koefisien regresi pada polinomial pangkat 2



a_m, b_m, c_m, \dots	=	proporsi masing-masing fraksi untuk mencapai target gradasi gabungan, nilai total = 1,00
a_r	=	luas kurva persen agregat tertahan (mm^2)
a_s	=	konstanta dalam pemodelan gradasi (10^{-2}mm^{-1})
A_0	=	luas penampang awal (mm^2)
A_C	=	luas penampang terkoreksi (mm^2)
$A_m, B_m, C_m,$...	=	persentase material lolos saringan untuk setiap fraksi agregat (%)
A_{tc}	=	luas bidang gambar (mm^2)
b_{200}	=	persen agregat tertahan saringan No. 200 (%)
b_r	=	kemiringan kurva rayapan ($\text{mm}/\text{mm}/\text{detik}$)
b_s	=	konstanta pangkat dalam pemodelan gradasi
b_0	=	konstanta intersep
b_i	=	koefisien linier
b_{ii}	=	koefisien kuadrat
b_{ij}	=	koefisien interaksi
BC	=	kadar aspal (% campuran beraspal)
c	=	persen agregat lolos saringan No. 200
Cc_1	=	kemiringan kurva rayapan rata-rata benda uji kering ($\text{mm}/\text{mm}/\text{detik}$)
Cc_2	=	kemiringan kurva rayapan rata-rata benda uji basah ($\text{mm}/\text{mm}/\text{detik}$)
CcR	=	rasio kemiringan kurva rayapan (%)
c_{ij}	=	konstanta pada pemodelan polinomial pangkat 2
C_m	=	faktor koreksi untuk apa yang disebut efek dinamis yang diperhitungkan akibat perbedaan antara statis (<i>creep</i>) dan perilaku dinamis (alur)
CR	=	rasio kuat tekan (%)
CR_{c1}	=	pemulihan rayapan rata-rata benda uji kering (%)
CR_{c2}	=	pemulihan rayapan rata-rata benda uji basah (%)
CR_c	=	pemulihan rayapan (%)
CR_{cR}	=	rasio pemulihan rayapan (%)
C_s	=	kekakuan rayapan (MPa)
C_{s1}	=	kekakuan rayapan rata-rata benda uji kering (MPa)
C_{s2}	=	kekakuan rayapan rata-rata benda uji basah (MPa)
C_{sR}	=	rasio kekakuan rayapan (%)
d	=	diameter rata-rata benda uji (mm)
D	=	perbedaan antara angka X_a dan X_k setiap pasangan
E	=	modulus elastisitas (MPa)
E_1	=	modulus elastisitas rata-rata benda uji kering (MPa)
E_2	=	modulus elastisitas rata-rata benda uji basah (MPa)
ER	=	rasio modulus elastisitas (%)



F	=	nilai F dalam pengujian statistik
F_{KAO}	=	konstanta pada perkiraan kadar aspal optimum
G_1, G_2, G_n	=	berat jenis curah masing-masing agregat
G_{1a}, G_{2a}, G_{na}	=	berat jenis semu masing-masing agregat
G_b	=	berat jenis aspal
G_{mb}	=	berat jenis curah dari beton aspal padat
G_{mm}	=	berat jenis maksimum campuran
G_{sa}	=	berat jenis semu total agregat
G_{sb}	=	berat jenis curah total agregat
G_{se}	=	berat jenis efektif total agregat
h	=	jarak pengukur deformasi vertikal pada benda uji (mm)
h_{pav}	=	ketebalan lapis perkerasan (mm)
ht	=	faktor koreksi tinggi benda uji
i	=	data ke i pada variabel bebas
ITS	=	kuat tarik tak langsung campuran beraspal (kPa)
j	=	data ke j pada variabel terikat
K_{KAO}	=	koefisien pada perkiraan kadar aspal optimum
K	=	banyaknya kelompok dalam pengujian statistik
k	=	koefisien permeabilitas (cm/s)
L	=	tebal benda uji pada penentuan permeabilitas (cm)
MSA	=	kuadrat rata-rata kelompok A
MSb	=	kuadrat rata-rata antar kelompok
MSB	=	kuadrat rata-rata kelompok B
MSe	=	kuadrat rata-rata galat dalam kelompok
N	=	jumlah kasus gabungan atau total seluruh kelompok
N_w	=	jumlah repetisi beban roda
n	=	jumlah sampel bebas atau berpasangan
N_i	=	jumlah kasus di kelompok i
o	=	pembacaan arloji stabilitas Marshall
P_m	=	persentase agregat kombinasi target gabungan agregat pada saringan tertentu (%)
P_L	=	pelelehan (mm)
P_T	=	beban (N)
P_1, P_2, \dots, P_n	=	persentase masing-masing agregat (%)
P_b	=	persen berat aspal terhadap campuran (%)
P_{ba}	=	persen berat aspal terserap terhadap berat total agregat (%)
P_{be}	=	persen berat aspal efektif terhadap berat total agregat (%)
P_{KAO}	=	perkiraan kadar aspal optimum, % berat campuran beraspal
P_{max}	=	beban maksimum rata-rata (N)
P_{mm}	=	persen berat total campuran lepas 100%
P_s	=	persen berat agregat terhadap berat total agregat (%)
p_r	=	stabilitas Marshall terkalibrasi (kg)



R^2	=	koefisien determinasi
R_d	=	kedalaman alur (mm)
S_1	=	kuat tarik rata-rata benda uji kering (kPa)
S_2	=	kuat tarik rata-rata benda uji basah (kPa)
S_i	=	kekuatan tersisa pada waktu t_i (%)
S_{i+1}	=	kekuatan tersisa pada waktu t_{i+1} (%)
S_M	=	berat volume benda uji atau kepadatan (g/cm^3)
S_{mix}	=	kekakuan campuran beraspal (MPa)
$S_{\text{bit,visc}}$	=	komponen <i>viscous</i> dari bitumen <i>stiffness</i> (kPa)
S_o	=	stabilitas Marshall (kg)
S_{o1}	=	stabilitas Marshall rata-rata dengan perendaman selama 0,5 jam pada suhu 60°C (kg)
S_{o2}	=	stabilitas Marshall rata-rata dengan perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C (kg)
S_r	=	ukuran saringan (mm)
SSA	=	jumlah kuadrat kelompok A
SSb	=	jumlah kuadrat antar kelompok
SSB	=	jumlah kuadrat kelompok B
SSE	=	jumlah kuadrat galat
SST	=	jumlah kuadrat total
t	=	bentuk pengujian statistik uji t
t_b	=	tinggi atau tebal benda uji rata-rata (mm)
t_i	=	rangkaian waktu rendaman (hari)
t_n	=	total waktu perendaman (hari)
t_{oc}	=	lama perendaman awal pada pengujian rayapan statis (hari)
T	=	agregat tertahan kumulatif dalam bidang gambar (mm)
T_L	=	waktu pembebanan (detik)
T_w	=	waktu pembebanan satu <i>pulse</i> (detik)
TSR	=	<i>Tensile Strength Ratio</i> (%)
V	=	volume benda uji (cm^3)
V_a	=	laju alir (cm^3/s)
W	=	berat benda uji kering (gram)
W_{SSD}	=	berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)
W_w	=	berat benda uji direndam dalam air (gram)
x	=	variabel bebas
x_s	=	ukuran saringan dalam pemodelan gradasi (mm)
y	=	variabel terikat
y_s	=	persen lolos pada ukuran saringan dalam pemodelan gradasi (mm)



DAFTAR SINGKATAN

AASHTO	=	American Association of State Highway and Transportation Officials
AC	=	Asphalt Cement
	=	Asphaltic Concrete
AMP	=	Asphalt Mixing Plant
AME	=	Aspal Modifikasi Elastomer
ANOVA	=	Analysis of Variance
ASTM	=	American Society for Testing and Material
CcR	=	slope of creep curve ratio
CRR	=	creep recovery ratio
CsR	=	creep stiffness ratio
df	=	degree of freedom
DI	=	Durability Index
Ditjen	=	Direktorat Jenderal
ERS	=	Equivalent Retained Strength
GI	=	Gradation Index
GR	=	Gradation Ratio
ITSR	=	Indirect Tensile Strength Ratio
JRA	=	Japan Road Association
KAO	=	Kadar Aspal Optimum
LL	=	Lower Limit
LTOA	=	Long Term Oven Aging
ML	=	Mid range-Lower limit
MPR	=	Multiple Polynomial Regression
MQ	=	Marshall Quotient
MR	=	Mid-Range
RMS	=	Retained Marshall Stability
SMA	=	Split Mastic Asphalt
SNI	=	Standar Nasional Indonesia
SPSS	=	Statistical Product for Service Solutions
STOA	=	Short Term Oven Aging
TSR	=	Tensile Strength Ratio
UCS	=	Unconfined Compressive Strength
UL	=	Upper Limit
UM	=	Upper limit-Mid range
VFA	=	Void Filled with Asphalt
VIM	=	Void In the Mix
VMA	=	Void in Mineral Aggregate
WTM	=	Wheel Tracking Machine



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal	L1-1
LAMPIRAN 2: Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	L2-1
LAMPIRAN 3: Pemeriksaan Air Banjir	L3-1
LAMPIRAN 4: Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	L4-1
LAMPIRAN 5: Permeabilitas Campuran Beton Aspal	L5-1
LAMPIRAN 6: Pengujian Kuat Tarik Tak Langsung	L6-1
LAMPIRAN 7: Pengujian Kuat Tekan Bebas	L7-1
LAMPIRAN 8: Pengujian Rayapan Statis (<i>static creep</i>).....	L8-1