

**CIRI KEJURUTERAAN ASFALT BERLIANG AKIBAT TINDAKAN
PENGUSIAAN JANGKA PENDEK DAN JANGKA PANJANG**

oleh

CHE NORAZMAN BIN CHE WAN

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

APRIL 2010

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur kehadiran Allah S.W.T., penentu segalanya serta selawat dan salam kepada junjungan besar Nabi Muhammad S.A.W, keluarga serta sahabat-sahabat Baginda.

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih yang tidak terhingga di ajukan kepada Prof. Dr. Hj. Meor Othman Hamzah yang telah memberikan perhatian, masa, tenaga, bimbingan, dorongan dan buah fikiran dalam menyelia penyelidikan ini. Ilham dan iltizam beliau dalam memastikan penyelidikan ini berjalan lancar amat disanjung tinggi. Kesediaan beliau menyumbang tanpa mengira waktu amat di kagumi. Tidak ketinggalan penghargaan di berikan kepada Prof. Madya Dr Megat Azmi Megat Johari dan Prof. Madya Ahmad Shukri Yahya selaku penyelia kedua dan ketiga yang telah memberikan nasihat dan memastikan kelancaran penyelidikan ini.

Sekalung penghargaan dan terima kasih ditujukan kepada staf-staf akademik dan bukan akademik, juruteknik Makmal Lebuhraya dan Lalulintas, Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, USM, terutamanya En. Zulhairi bin Ariffin dan En. Mohd Fouzi bin Ali di atas kerjasama dan pertolongan yang diberi sepanjang menjalankan kajian di makmal.

Penghargaan dan terima kasih juga dirakamkan untuk Jabatan Pengurusan Politeknik dan Kolej Komuniti, Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia yang menyediakan biasiswa bagi mengikuti pengajian sarjana ini.

Akhir sekali, setinggi penghargaan kepada ibu, isteri dan anak-anakku tersayang iaitu Pn Aminah Ab. Rahman, Puteri Latifah Hanum Megat Samsudin, Nur Izzati, Nur Zulaiha, Nur Afiqah, Nur Maisarah, Nur Syakirah, Muhammad Najib, Nur Faizah dan Nur Hasanah diatas pengorbanan, dorongan, sokongan dan doa mereka sepanjang pengajian Ijazah Sarjana Sains di USM. Semoga Allah memberkhati usaha dan amalan kita semua. Amin.

JADUAL KANDUNGAN

Muka surat

PENGHARGAAN.....	ii
JADUAL KANDUNGAN.....	iv
SENARAI JADUAL.....	x
SENARAI RAJAH.....	xiii
SENARAI SINGKATAN.....	xviii
ABSTRAK.....	xx
ABSTRACT.....	xxi

BAB 1 PENGENALAN

1.0	Pendahuluan.....	1
1.1	Objektif.....	2
1.2	Penyataan Masalah.....	2
1.3	Skop Kajian.....	4
1.4	Justifikasi Kajian.....	5
1.5	Organisasi Tesis.....	7
1.6	Kesimpulan.....	8

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

2.0	Pendahuluan.....	9
2.1	Asfalt Berliang.....	10
2.2	Bitumen.....	11
	2.2.1 Komposisi Bitumen.....	12
	2.2.1(a) Asfalten.....	13
	2.2.1(b) Resin.....	14
	2.2.1(c) Aromatik.....	14
	2.2.1(d) Saturat.....	14
2.3	Pengikat Terpinda Styrene Butedene Styrene.....	15
2.4	Pengusiaan.....	19
	2.4.1 Pengusiaan Pengikat.....	19

2.4.2	Pengusiaan Campuran Asfalt Berliang.....	23
2.5	Rekabentuk Campuran Asfalt Berliang	31
2.6	Ringkasan.....	36

BAB 3 CIRI BAHAN DAN METODOLOJI

3.0	Pengenalan.....	37
3.1	Ciri Agregat.....	39
3.2	Jenis Agregat.....	39
3.3	Penggredan Agregat.....	39
3.4	Graviti Tentu dan Ujian Penyerapan Air.....	40
3.5	Ujian Indeks Pemanjangan Dan Kekepingan.....	42
3.6	Ujian Nilai Hentaman Dan Lelasan Agregat.....	42
3.7	Bahan Pengisi.....	43
3.8	Bitumen.....	43
3.9	Jenis Bahan Bitumen.....	44
3.10	Ujian Bitumen.....	44
3.10.1	Graviti Tentu.....	45
3.10.2	Ujian Penusukan.....	46
3.10.3	Ujian Cincin Dan Bebola.....	46
3.10.4	Ujian Meter Kilasan.....	47
3.10.5	Ujian Ricih Dinamik Rheometer.....	48
3.10.6	Ujian Meterlika Putaran.....	50
3.11	Simulasi Pengusiaan	52
3.11.1	Pengusiaan Bitumen.....	53
3.11.2	Pengusiaan Campuran Asfalt Berliang.....	54
3.12	Analisis Berstatistik.....	56
3.12.1	Ciri-Ciri Data.....	57
3.12.1a	Min.....	57
3.12.1b	Median.....	57
3.12.1c	Mod.....	57
3.12.1d	Sisihan Piawai.....	58
3.12.1e	Varians.....	58
3.12.2	Reka Bentuk Ujikaji.....	58

3.12.3	Ujian t.....	59
3.12.4	Korelasi.....	61
3.12.5	Analisis Varians (ANOVA).....	63
3.13	Ringkasan.....	65

BAB 4 PENYEDIAAN SPESIMEN DAN PERALATAN

4.0	Pengenalan.....	66
4.1	Penamaan Bitumen dan Campuran.....	66
4.2	Penyediaan Pengikat.....	67
4.3	Agregat.....	67
4.4	Penyediaan Acuan Speimen.....	68
4.5	Pencampuran Asfal Berliang.....	69
4.6	Pemadatan Spesimen.....	69
4.7	Ujian Ke Atas Spesimen.....	70
4.7.1	Ujian Kebolehtelapan.....	70
4.7.2	Ujian Ketumpatan dan Pengiraan Keliangan.....	72
4.7.3	Ujian Graviti Tentu Teori Maksimum Campuran.....	73
4.7.4	Ujian Modulus Kebingkas.....	76
4.7.5	Ujian Tegangan Tak langsung.....	79
4.7.6	Ujian Lelasan Cantabro.....	81
4.8	Ringkasan.....	83

BAB 5 PENGUBAHSUAIAN PENGREDAN AGREGAT

5.0	Pengenalan.....	84
5.1	Rekabentuk Penggredan Agregat.....	84
5.2	Metodologi.....	85
5.2.1	Penggredan Cubaan.....	85
5.2.2	Penyediaan Campuran Dan Ujian.....	89
5.3	Keputusan Ujian dan Pemilihan Penggredan.....	90
5.3.1	Ujian Kebolehtelapan.....	90
5.3.2	Nilai Keliangan.....	91
5.3.3	Nilai Kestabilan Marshall.....	91
5.3.4	Pemilihan Penggredan Cadangan.....	92

5.4	Ringkasan.....	95
-----	----------------	----

BAB 6 PENENTUAN KANDUNGAN PENGIKAT REKABENTUK

6.0	Pendahuluan.....	96
6.1	Konsep Ujian Aliran Pengikat TRL.....	97
6.2	Penentuan Kandungan Pengikat Rekabentuk.....	99
6.2.1	Ujian Aliran Pengikat.....	99
6.2.2	Pengujian Lelasan Cantabro.....	104
6.3	Keputusan Ujian Aliran Pengikat.....	105
6.3.1	Kesan Perbezaan Penggredan Agregat.....	106
6.3.2	Kesan Perbezaan Pengikat	109
6.3.3	Kesan Kandungan Pengikat.....	110
6.4	Keputusan Ujian Lelasan Cantabro.....	111
6.4.1	Kesan Perbezaan Penggredan Agregat.....	112
6.4.2	Kesan Perbezaan Pengikat	115
6.4.3	Kesan Kandungan Pengikat.....	115
6.5	Kandungan Pengikat Rekabentuk	116
6.6	Ringkasan.....	117

BAB 7 ANALISIS KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

7.0	Pengenalan.....	118
7.1	Penusukan Bitumen.....	118
7.1.1	Analisis Berstatistik Ujian Penusukan Pengikat	120
7.2	Titik Lembut.....	122
7.2.1	Analisis Berstatistik Ujian Titik Lembut Pengikat	124
7.3	Meterkilasan.....	126
7.3.1	Analisis Berstatistik Ujian Kilasan Pengikat.....	129
7.4	Reometer Ricih Dinamik.....	130
7.4.1	Kesan Suhu Ke Atas Modulus Kompleks Pengikat.....	131
7.4.2	Kesan Suhu Ke Atas Sudut Fasa Pengikat.....	132
7.4.3	Pengaruh Pengusiaan Terhadap Modulus kompleks.....	134
7.4.4	Pengaruh Pengusiaan Terhadap Sudut Fasa.....	138
7.4.5	Indeks Pengusiaan.....	140

7.4.6	Analisis Berstatisk Parameter Reometer Ricih Dinamik Pengikat	143
7.5	Kelikatan.....	145
7.5.1	Analisis Berstatistik Ujian Meterlikat Putaran.....	152
7.6	Kebolehtelapan Campuran Asfalt Berliang.....	154
7.6.1	Kesan Kandungan Pengikat Terhadap Kebolehtelapan.....	155
7.6.2	Kesan Pengusiaan Terhadap Kebolehtelapan Asfalt Berliang..	156
7.6.3	Analisis Berstatistik Parameter Kebolehtelapan	159
7.6.4	Kesan penggunaan penggredan berbeza.....	163
7.6.5	Kesan Penggunaan Pengikat Berbeza.....	164
7.6.6	Kesan Ketumpatan Terhadap Kebolehtelapan.....	165
7.6.7	Kehubungan diantara kebolehtelapan dan keliangan.....	169
7.6.8	Korelasi Antara Kebolehtelapan, Ketumpatan dan Keliangan..	172
7.7	Modulus Kebingkas.....	175
7.7.1	Kesan Kandungan Pengikat Terhadap Modulus Kebingkas.....	176
7.7.2	Kesan Suhu Terhadap Campuran Asfalt.....	178
7.7.3	Kesan Pengusiaan Terhadap Penggredan Berbeza.....	180
7.7.4	Kesan Pengusiaan Terhadap Campuran Pengikat Berbeza.....	184
7.7.5	Analisis Berstatistik Parameter Kebingkas.....	185
7.8	Lelasan Cantabro.....	192
7.8.1	Kesan Kandungan Pengikat Terhadap lelasan.....	192
7.8.2	Kesan Pengusiaan Terhadap Lelasan.....	193
7.8.3	Analisis Berstatistik Parameter Lelasan Cantabro.....	197
7.8.4	Kesan Penggredan Terhadap Lelasan.....	200
7.8.5	Kesan Perbezaan Pengikat Terhadap Lelasan.....	202
7.9	Kekuatan Tegangan Tak Langsung.....	203
7.9.1	Kesan Kandungan Pengikat Terhadap Kekuatan Tegangan Tak Langsung.....	204
7.9.2	Kesan Pengusiaan Terhadap Kekuatan Tegangan Tak Langsung.....	205
7.9.3	Analisis Berstatistik Parameter Kekuatan Tegangan Tak Langsung.....	210
7.9.4	Kesan Penggredan Terhadap Kekuatan Tegangan Tak Langsung.....	212
7.9.5	Kesan Perbezaan Pengikat Terhadap Kekuatan Tegangan Tak Langsung.....	213

7.10	Analisis Berstatistik Terhadap Parameter Campuran Asfalt Berliang Kesan Penggredan dan Pengikat Berbeza.....	215
7.10.1	Penggredan Berbeza.....	215
7.10.2	Pengikat Berbeza	216
	Ringkasan.....	218

BAB 8 KESIMPULAN DAN CADANGAN

8.0	Kesimpulan.....	220
8.1	Cadangan Kajian Masa Hadapan.....	226

	SENARAI RUJUKAN.....	228
--	-----------------------------	------------

LAMPIRAN

	LAMPIRAN A	236
	LAMPIRAN B	249
	LAMPIRAN C	256
	LAMPIRAN D	259
	LAMPIRAN E	263
	LAMPIRAN F	265

SENARAI JADUAL

Muka Surat

Jadual 2.1	Spesifikasi Bahan Bitumen Menurut JKR (JKR, 2008)	11
Jadual 2.2	Peratusan Komposisi Sebatian Bitumen (Brown, 1991)	12
Jadual 2.3	Spesifikasi Pengikat Terpinda Polimer (JKR, 2008)	17
Jadual 2.4	Pengusiaan Di Makmal Dan Tapak (Ford dan Smith, 1998)	22
Jadual 2.5	Pengerasan Bitumen Dalam Tempoh Khidmatan (Edwards, 1974)	28
Jadual 2.6	Peningkatan Modulus kebingkasan Sampel Setelah Pengusiaan (Muhamad, 2006)	29
Jadual 2.7	Modulus Kebingkasan Sampel Penggredan SSPA, SSDA dan SSGDA (Yi, 2008)	30
Jadual 2.8	Perubahan Modulus Kebingkasan Kesan Pengusiaan STOA dan LTOA (Yi, 2008)	30
Jadual 2.9	Spesifikasi Rekabentuk Campuran Asfalt Berliang di New Zealand (TNZ, 2007)	31
Jadual 2.10	Parameter Campuran Rekabentuk (Rebecca et al., 2004)	33
Jadual 3.1	Penggredan Agregat yang digunakan dalam Penyelidikan	40
Jadual 3.2	Keputusan Ujian Graviti Tentu Agregat dan Penyerapan Air (Samat, 2006)	41
Jadual 3.3	Keputusan Ujian Indeks Pemanjangan dan Kekepingan	42
Jadual 3.4	Keputusan Ujian Nilai Hentaman Agregat dan Lelasan (Samat, 2006)	43
Jadual 3.5	Penamaan Bitumen	44
Jadual 3.6	Kaedah Ujian Bitumen	45
Jadual 3.7	Graviti Tentu, Titik Lembut dan Penusukan Bitumen Yang Diuji	45
Jadual 4.1	Penamaan Pengikat Terusia	66
Jadual 4.2	Penamaan Campuran Asfalt Berliang Terusia	67

Jadual 4.3	Jisim Agregat yang Digunakan Mengikut Saiz Ayak	68
Jadual 4.4	Suhu Pencampuran dan Pematatan	69
Jadual 4.5	Parameter Ujian Modulus Kebingkasakan	78
Jadual 5.1	Keputusan Ujian Keatas Campuran Cubaan	90
Jadual 5.2	Peraturan Agregat Kasar dan Halus Bagi Penggredan Cubaan	92
Jadual 5.3	Peraturan Penggunaan Agregat Campuran	94
Jadual 6.1	Penetapan Kandungan Pengikat, Suhu Bancuhan dan Suhu Ujian Aliran Pengikat	101
Jadual 6.2	Keputusan Ujian Aliran Pengikat Kesan Pengikat Berbeza	110
Jadual 6.3	Peraturan Lelasan Kesan Kandungan Pengikat	116
Jadual 6.4	Kandungan Pengikat Rekabentuk Campuran	117
Jadual 7.1	ANAVA bagi Penusukan Pengikat	121
Jadual 7.2	ANAVA Bagi Titik Lembut Pengikat	125
Jadual 7.3	ANAVA Meterkilasan Pengikat	129
Jadual 7.4	ANAVA DSR Pengikat	143
Jadual 7.5	ANAVA DSR Menggunakan Model Linear Yang Baru	144
Jadual 7.6	Keputusan Ujian Meterlika Putaran Pengikat 60P	151
Jadual 7.7	Keputusan Ujian Meterlika Putaran Pengikat SBS	151
Jadual 7.8	ANAVA Kelikatan Pengikat	152
Jadual 7.9	ANAVA Kelikatan Pengikat Menggunakan Model Linear Yang Baru	153
Jadual 7.10	Perbezaan Kebolehtelapan Pengaruh Pengusiaan Makmal Pada Kandungan Pengikat 4.5%	159
Jadual 7.11	ANAVA Kebolehtelapan Campuran PJ60P	160
Jadual 7.12	ANAVA Kebolehtelapan Menggunakan Model Linear Yang Baru Campuran PJ60P	160

Jadual 7.13	Perbezaan Kebolehtelapan Kesan Penggunaan Pengikat Yang Berbeza	165
Jadual 7.14	Nilai Pekali Korelasi(r) antara Kebolehtelapan, Keliangan dan Ketumpatan Campuran PJ60P	173
Jadual 7.15	Pekali Korelasi (r) antara Kebolehtelapan, Keliangan dan Ketumpatan Bagi Penggredan Campuran Asfalt Berliang	175
Jadual 7.16	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasian Suhu 10°C dan 25°C	179
Jadual 7.17	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasian Suhu 25°C dan 40°C	180
Jadual 7.18	ANAVA Kebingkasian Campuran PJ60P	186
Jadual 7.19	ANAVA Kebingkasian Menggunakan Model Linear yang Baru Campuran PJ60P	187
Jadual 7.20	ANAVA Ujian Cantabro Campuran PJ60P	197
Jadual 7.21	ANAVA Ujian Tegangan Tidak Langsung (ITS) Campuran PJ60P	210
Jadual 7.22	Pengertian Analisis Berstatistik Bagi Parameter Campuran Asfalt Penggredan Berbeza	216
Jadual 7.23	Pengertian Analisis Statistik Bagi Parameter Campuran Asfalt Pengikat Berbeza	218

SENARAI RAJAH

		Muka Surat
Rajah 2.1	Kandungan SBS Melawan Titik Lembut (Hanyu et al., 2005)	19
Rajah 2.2.	Kehubungan Antara Peningkatan Suhu Terhadap Perubahan Titik lembut (Whiteoak dan Fordyce, 1989)	24
Rajah 2.3	Kesan Ketebalan Lapisan Nipis Pengikat Terhadap Indek Pengusiaan (Griffin et al., 1955)	25
Rajah 2.4	Pengaruh Suhu keatas Ricih Kompleks Pengikat (Bahia dan Anderson, 1994)	26
Rajah 2.5	Pengusiaan Bitumen Pada Keadaan Campuran Konkrit Asfalt (Whiteoak et al., 1989)	27
Rajah 2.6	Penggredan Campuran Kajian (Rebecca et al., 2004)	33
Rajah 2.7	Kehubungan di antara Kandungan Pengikat dan Kehilangan Lelasan (Sasana et al., 2003)	34
Rajah 2.8	Pengaruh Penggredan, Mod Pemasadatan dan Kandungan Pengikat ke atas Campuran Asfalt (Suresha et al., 2009)	35
Rajah 3.1	Carta Aliran Kerja Kajian	38
Rajah 3.2	Graf Penentuan Suhu Sama Likat AC-10 (Asfalt Institute, 2001).	51
Rajah 4.1	Peralatan Meter Telap Air	71
Rajah 4.2	Peralatan Ujian Graviti Tentu Teori Maksimum Campuran	74
Rajah 4.3	Alat MATTA Ujian Kebingkasakan	79
Rajah 4.4	Alat Ujian Kekuatan TeganganTak Langsung dan Kedudukan Sampel	81
Rajah 4.5	Alat Lelasan Cantabro	82
Rajah 5.1	Himpunan Penggredan Agregat Asfalt Berliang Luar negara dan Liputan Penggredan	86

Rajah 5.2	Garisan Liputan dan Penggredan Cubaan Pertama	88
Rajah 5.3	Penggredan Cubaan Keseluruhan	88
Rajah 5.4	Taburan Saiz Agregat Penggredan Cadangan dan Penggredan JKR	94
Rajah 6.1	Contoh Graf Ujian Aliran Pengikat	98
Rajah 6.2	Ketuhar, Kertas Aluminium dan Kedudukan Raga Jaring Ujian Aliran Pengikat	100
Rajah 6.3	Keadaan Pengikat Tertahan Pada Takungan Aluminium	103
Rajah 6.4	Keadaan Sampel Setelah Ujian Cantabro	105
Rajah 6.5	Aliran Pengikat PC60P	107
Rajah 6.6	Aliran Pengikat PJ60P	107
Rajah 6.7	Aliran Pengikat PCSBS	108
Rajah 6.8	Aliran Pengikat PJSBS	108
Rajah 6.9	Hubungan Nilai Peratusan Lelasan Terhadap Perubahan Suhu (Colonna, 1996)	112
Rajah 6.10	Peratusan Lelasan Campuran PC60P	113
Rajah 6.11	Peratusan Lelasan Campuran PCSBS	113
Rajah 6.12	Peratusan Lelasan Campuran PJ60P	114
Rajah 6.13	Peratusan Lelasan Campuran PJSBS	114
Rajah 7.1	Keputusan Ujian Penusukan Bitumen Kesan Pengaruh Pengusiaan	120
Rajah 7.2	Plot Kesan Interaksi Antara Faktor Bagi Penusukan Pengikat	122
Rajah 7.3	Keputusan Ujian Titik Lembut Kesan Pengaruh Pengusiaan	124
Rajah 7.4	Plot Kesan Interaksi Antara Faktor Titik Kelembutan Pengikat	126

Rajah 7.5	Keputusan Ujian Meterkilasan Kesan Pengaruh Pengusiaan	128
Rajah 7.6	Plot Kesan Interaksi Antara Faktor Kilasan Pengikat	130
Rajah 7.7	Pengaruh Suhu Ke atas Modulus kompleks Pengikat	132
Rajah 7.8	Pengaruh Suhu Ke atas Sudut Fasa Pengikat	134
Rajah 7.9	Pengaruh Pengusiaan Terhadap Modulus Pengikat 60P	135
Rajah 7.10	Pengaruh Pengusiaan Terhadap Modulus Kompleks Pengikat SBS	136
Rajah 7.11	Pengaruh Pengusiaan Terhadap Sudut Fasa Pengikat 60P	139
Rajah 7.12	Pengaruh Pengusiaan Terhadap Sudut Fasa Pengikat SBS	139
Rajah 7.13	Indek Pengusiaan Pengikat 60P	142
Rajah 7.14	Indek Pengusiaan Pengikat SBS	142
Rajah 7.15	Plot Kesan Interaksi Antara Faktor DSR	145
Rajah 7.16	Keputusan Kelikatan Pengikat 60P	147
Rajah 7.17	Keputusan Kelikatan Pengikat SBS	148
Rajah 7.18	Plot kesan interaksi antara faktor Kelikatan Pengikat	154
Rajah 7.19	Pengaruh Kandungan Pengikat Terhadap Kebolehtelapan	155
Rajah 7.20a	Kebolehtelapan Campuran PC60P Selepas Pengusiaan	156
Rajah 7.20b	Kebolehtelapan Campuran PJ60P Selepas Pengusiaan	157
Rajah 7.20c	Kebolehtelapan Campuran PCSBS Selepas Pengusiaan	157

Rajah 7.20d	Kebolehtelapan Campuran PJSBS Selepas Pengusuaan	158
Rajah 7.21	Plot Kesan Utama Kebolehtelapan	161
Rajah 7.22	Plot Kesan Utama Kebolehtelapan Campuran Kajian	162
Rajah 7.23a	Kesan Ketumpatan Terhadap Kebolehtelapan Sampel Terusia PJ60P	167
Rajah 7.23b	Kesan Ketumpatan Terhadap Kebolehtelapan Sampel Terusia PC60P	167
Rajah 7.23c	Kesan Ketumpatan Terhadap Kebolehtelapan Sampel Terusia PJSBS	168
Rajah 7.23d	Kesan Ketumpatan Terhadap Kebolehtelapan Sampel Terusia PCSBS	168
Rajah 7.24a	Kehubungan Di Antara Kebolehtelapan dan Keliangan PJ60P	170
Rajah 7.24b	Kehubungan Di Antara Kebolehtelapan dan Keliangan PC60P	171
Rajah 7.24c	Kehubungan Antara Kebolehtelapan dan Keliangan PJSBS	171
Rajah 7.24d	Kehubungan Antara Kebolehtelapan dan Keliangan PCSBS	172
Rajah 7.25	Plot Serakan Kehubungan Parameter Kebolehtelapan, Ketumpatan dan Keliangan Campuran PJ60P	174
Rajah 7.26	Pengaruh Kandungan Pengikat Terhadap Modulus Kebingkasn Sampel Tidak Terusia Pada Suhu 25°C	177
Rajah 7.27a	Modulus Kebingkasn PC60P	181
Rajah 7.27b	Modulus Kebingkasn PJ60P	182
Rajah 7.27c	Modulus Kebingkasn PCSBS	183
Rajah 7.27d	Modulus Kebingkasn PJSBS	184
Rajah 7.28	Plot Interaksi Faktor Kebingkasn Campuran PJ60P	188

Rajah 7.29	Plot Interaksi Faktor Kebingkasasan	191
Rajah 7.30	Kesan Kandungan Pengikat Terhadap Lelasan Sampel Tanpa Usia	193
Rajah 7.31a	Ujian Cantabro Campuran PJ60P	195
Rajah 7.31b	Ujian Cantabro Campuran PC60P	195
Rajah 7.31c	Ujian Cantabro Campuran PJSBS	196
Rajah 7.31d	Ujian Cantabro Campuran PCSBS	196
Rajah 7.32	Plot Interaksi Antara Kandungan Pengikat Dengan Pengusiaan Campuran PJ60P	198
Rajah 7.33	Plot Kesan Interaksi Antara Faktor Lelasan Cantabro	200
Rajah 7.34	Keputusan Kandungan Pengikat Ujian Tegangan Tak langsung	205
Rajah 7.35a	Kesan Pengusiaan Terhadap Kekuatan Tegangan Campuran PJ60P	208
Rajah 7.35b	Kesan Pengusiaan Terhadap Kekuatan Tegangan Campuran PC60P	208
Rajah 7.35c	Kesan Pengusiaan Terhadap Kekuatan Tegangan Campuran PCSBS	209
Rajah 7.35d	Kesan Pengusiaan Terhadap Kekuatan Tegangan Campuran PJSBS	209
Rajah 7.36	Plot Kesan Interaksi antara Kandungan Pengikat dengan Pengusiaan Campuran PJ60P	211

SENARAI SINGKATAN

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
AC	Asphalt Cement
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATM	Austroad Torsion Meter
AUSTROAD	Australian Road
BS	British Standard
BSI	British Standard Institution
DSR	Dynamic Shear Reometer
HMA	Hot Mixed Asphalt
ITS	Indirect Tensile Strength
JKR	Jabatan Kerja Raya
LTA	Long Term Ageing Sample
MATTA	Materials Testing Apparatus
MBT	Modified Binder Test
MPa	Mega Pascal
NAPA	National Asphalt Pavement Association
Pa.s	Pascal Second
PAV	Pressure Ageing Vessel
PC	Penggredan Cadangan
PC60P	Penggredan Cadangan Bitumen 60/70
PCSBS	Penggredan Cadangan Bitumen SBS
PDRM	Polis Diraja Malaysia
PFC	Porous Friction Course

PJ	Penggredan Jabatan Kerja Raya
PJ60P	Penggredan JKR Bitumen 60/70
PJSBS	Penggredan JKR Bitumen SBS
PMB	Polymer Modified Bitumen
RTFO	Rotation Thin Flim Oven
SBS	Styrene Butadine Styrene
SPJ	Spesifikasi Penyenggaraan Jalan
STA	Short Term Ageing Sample
STM	Stone Mastic Asphalt
TMD	Theoretical Maximum Density
TNZ	Traffic of New Zealand
TRL	Transport Research Laboratory
UG	Unaged Sample
VMA	Void in Mix Asphalt
60P	Pengikat 60/70 Penetrasi

CIRI KEJURUTERAAN ASFALT BERLIANG AKIBAT TINDAKAN PENGUSIAAN JANGKA PENDEK DAN JANGKA PANJANG

ABSTRAK

Asfalt berliang diaplikasi secara meluas untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas dan menurunkan hingar. Beberapa kajian telah dijalankan untuk meningkatkan prestasi campuran asfalt termasuk ciri campuran yang terdedah kepada pengusiaan. Matlamat kajian ini adalah menilai perubahan ciri kejuruteraan asfalt berliang setelah didedahkan kepada pengusiaan jangka pendek dan jangka panjang. Satu penggredan cadangan dibangunkan hasil analisis penggredan campuran asfalt berliang yang telah berjaya diaplikasikan di negara lain. Penggredan JKR diterima pakai sebagai perbandingan. Kandungan pengikat campuran ditentukan daripada ujian aliran pengikat yang diperkenalkan oleh Transport Research Laboratory, UK dan ujian lelasan Cantabro. Dua jenis bahan pengikat yang digunakan ialah bitumen konvensional 60/70 dan bitumen terubahsuai *styrene butadiene styrene* (SBS). Pengikat dan campuran asfalt didedahkan kepada pengusiaan makmal bagi mensimulasikan pengusiaan di tapak. Prestasi campuran dinilai berdasarkan pekali kebolehtelapan, modulus kebingkasan, kekuatan tegangan tak langsung dan lelasan Cantabro. Pekali kebolehtelapan campuran berbitumen 60/70 lebih tinggi berbanding campuran berbitumen SBS. Untuk mendapatkan kebolehtelapan asfalt berliang yang baik, komposisi agregat halus hendaklah tidak melebihi 10%. Pengusiaan meningkatkan kelikatan, kebolehtelapan, ITS dan lelasan masing-masing di antara 33.3 hingga 90.0%, 27.3 hingga 93.8%, 13.7 hingga 34.0% dan 4.5 hingga 34.1%. Analisis berstatistik menunjukkan penggunaan bitumen 60/70 bererti terhadap campuran asfalt berliang dengan prestasi campuran ini lebih baik berbanding penggredan setara SBS.

ENGINEERING PROPERTIES OF POROUS ASPHALT SUBJECTED TO SHORT TERM AND LONG TERM AGEING

ABSTRACT

Porous asphalt is widely applied to improve road safety and reduce traffic noise. A number of studies have been carried out to improve the performance of porous asphalt, including its properties when exposed to ageing. The objective of this study is to evaluate the engineering properties of porous asphalt when subjected to short term and long term ageing. A proposed gradation was developed based on the porous gradation analysis that has been successfully applied in other countries. The JKR gradation was included in this study as a control. The binder content was determined from the binder drainage test pioneered by the Transport Research Laboratory, UK and the Cantabro test. The conventional 60/70 and modified *styrene butadiene styrene* (SBS) binders were used in this study. Binders and asphalt mixes were conditioned in the laboratory to simulate the ageing process at site. Mix performance was evaluated from the coefficient of permeability, resilient modulus, indirect tensile strength and abrasion loss. Mixes incorporating 60/70 binder exhibit higher coefficient of permeability compared to SBS mixes. To obtain high value of coefficient of permeability, the fine aggregate composition should not exceed 10%. Ageing caused bitumen harden, increase the viscosity, permeability, ITS and abrasion loss between 33.3 and 90.0%, 27.3 and 93.8%, 13.7 and 34.0%, 4.5 and 34.1% respectively. Statistical analysis showed that incorporating 60/70 bitumen exhibit significant effect on porous asphalt. The proposed gradation and 60/70 bitumen is better than the mixed incorporating the similar gradation and SBS modified bitumen.

BAB 1

PENGENALAN

1.0 Pendahuluan

Penyediaan rangkaian jalan dan lebuhraya yang baik lagi efisien sangat penting bagi memenuhi hasrat dan matlamat kerajaan untuk mencapai status negara maju menjelang 2020. Di Malaysia, bahan lebuhraya yang paling lumrah digunakan ialah konkrit asphalt. Penggunaan jenis bahan permukaan lain seperti macadam, *stone mastic asphalt* dan asphalt berliang turut digunakan untuk pelbagai tujuan. Berbanding konkrit asphalt, penggunaan asphalt berliang masih baru dalam industri jalan raya negara.

Di Eropah, asphalt berliang digunakan secara meluas kerana sumbangannya terhadap peningkatan keselamatan dan keupayaannya menurunkan kadar hingar lalu lintas. Namun begitu, daya tahanlasak asphalt berliang adalah rendah berbanding konkrit asphalt. Banyak kajian telah dijalankan untuk meningkatkan lagi sifat ketahanlasakkannya. Kajian lebih terperinci juga dijalankan untuk memahami keadaan asphalt berliang akibat kesan pengusiaan. Rumusan dari kajian yang dijalankan secara berterusan dapat meningkatkan prestasi dan melanjutkan hayat reka bentuk campuran terbuka ini.

Asphalt berliang mula digunakan di United Kingdom sekitar tahun 1950an. Penggunaan asphalt ini sebagai landasan kapal terbang tentera didapati berupaya menyelesaikan masalah kegelinciran dan percikan air oleh tayar pesawat. Bahan ini kemudiannya diadaptasi untuk digunakan pada permukaan jalan raya bagi tujuan

yang sama. Penghasilan rongga yang tinggi, sekitar 20%, memberikan kelebihan campuran asphalt ini untuk menyelesaikan pelbagai masalah takungan air permukaan jalan raya ketika hujan.

1.1 Objektif

Objektif kajian adalah seperti berikut :-

1. Mengkaji dan menilai perubahan ciri reologi bitumen lazim dan bitumen terpolimer setelah di dedahkan kepada pengusiaan jangka pendek dan jangka panjang.
2. Mencadangkan satu penggredan agregat asphalt berliang berasaskan analisis penggredan campuran berliang seumpamanya yang telah berjaya diaplikasikan di negara lain.
3. Menentukan kandungan bitumen reka bentuk setiap campuran.
4. Menilai dan membuat perbandingan prestasi campuran asphalt berliang yang menggabungkan penggredan agregat cadangan dengan campuran asphalt berliang menurut penggredan JKR berasaskan keputusan ujian kebolehtelapan, ujian lelasan Cantabro, ujian kebingkasan dan ujian tegangan tak langsung.

1.2 Penyataan Masalah

Pelan pembangunan negara sangat menitikberatkan pembinaan jalan yang berkualiti. Peningkatan kadar pertumbuhan lalu lintas yang tinggi menuntut penyediaan struktur jalan raya yang bermutu. Dalam tahun 2006, terdapat sebanyak 16 juta kenderaan berdaftar di negara ini yang jumlah penduduknya 26 juta orang (JKR, 2007).

Berpandukan data JKR (2007), pada Disember 2006, isipadu kenderaan didaftarkan meningkat sebanyak 0.8% juta ukp (unit kereta penumpang) berbanding dalam tempoh yang sama bagi Disember 2005. Untuk keseluruhan tempoh 2006, peningkatan kenderaan sebanyak 1.6% juta ukp telah dicatatkan berbanding tahun 2005. Statistik ini telah menyumbang kepada peningkatan kadar kemalangan untuk beberapa tahun kebelakangan ini. Terdapat sebanyak 341,252 kemalangan kenderaan dilaporkan pada 2006 berbanding 328,262 pada tahun 2005 dan 279,711 pada tahun 2002 (PDRM, 2007). Peningkatan ini memberikan satu cabaran kepada pihak berkuasa jalan raya amnya dan jurutera jalan raya khususnya untuk menyediakan struktur jalan yang baik, selamat dan berkualiti.

Jalan raya sedia ada yang lumrah diturap menggunakan konkrit asphalt telah terbukti dapat menanggung bebanan lalu lintas. Campuran padat ini juga berupaya mencapai hayat reka bentuk yang panjang iaitu diantara 10 hingga 15 tahun. Walau bagaimanapun ketika hujan, turapan ini kurang berkesan untuk mengatasi masalah takungan air permukaan. Keadaan ini menyebabkan permukaan jalan raya menjadi licin dan merbahaya kepada pengguna jalan raya. Takungan air di permukaan jalan raya juga menyebabkan percikan dan semburan yang menghalang kebolehlihatan lalu menjejaskan aktiviti memotong.

Penggunaan asphalt berliang dapat mengatasi masalah tersebut di atas. Bahan campuran alternatif ini dapat menyalirkan takungan air permukaan jalan dengan baik. Pengurangan atau penghapusan takungan air permukaan jalan raya dapat meningkatkan jarak penglihatan dan keselesaan pemandu ketika hujan. Bercirikan rongga udara yang tinggi, campuran ini juga mampu menurunkan hingar dengan

menyerap udara termampat pada antaramuka tayar-turapan. Walau bagaimanapun, berbanding campuran tumpat, hayat reka bentuk campuran berliang adalah rendah akibat kadar pengusiaan pengikat yang cepat.

Lazimnya, pengikat terpinda polimer seperti Styrene Butadiene Styrene (SBS) digunakan sebagai bahan pengikat untuk menghasilkan asfalt berliang. Kajian penyelidikan terdahulu banyak bertumpu kepada peningkatan kestabilan campuran asfalt yang menggunakan pengikat terpinda SBS berbanding kesan terhadap pengusiaan campuran asfalt menggunakan pengikat terubahsuai ini. Walau bagaimanapun penggunaan pengikat SBS meningkatkan kos penghasilan campuran asfalt. Di negara Belanda, pengikat lazim 60/70 lumrah digunakan sebagai bahan pengikat asfalt berliang dan hayat reka bentuknya mencecah 16 tahun. Selaras dengan itu, kajian ini menumpukan terhadap kesesuaian penggunaan pengikat lazim 60/70 untuk campuran asfalt berliang terutama kesan akibat pengusiaan. Penggunaan pengikat lazim dapat mengurangkan kos campuran kerana faktor kos pengikat yang jauh lebih rendah.

1.3 Skop Kajian

Skop kajian bertumpu pada prestasi campuran asfalt dan pengikat apabila didedahkan kepada simulasi pengusiaan jangka pendek dan jangka panjang di makmal. Untuk melihat prestasi pengikat dalam campuran, dua penggredan digunakan iaitu penggredan cadangan (PC) dan penggredan Jabatan Kerja Raya (PJ). Penggredan cadangan dihasilkan dari pengumpulan beberapa penggredan yang terbukti berjaya diaplikasikan di negara lain, manakala penggredan JKR digunakan sebagai perbandingan. Pengikat lazim, terpinda SBS dan agregat granit digunakan

untuk kedua-dua penggredan PC dan PJ. Kandungan bitumen ditentukan daripada keputusan ujian Cantabro dan ujian aliran pengikat.

Kajian ini dibahagikan kepada tiga fasa iaitu :-

- 1) Fasa pertama adalah kajian keatas pengikat. Bitumen 60/70 dan bitumen terpinda SBS apabila dikenakan simulasi pengusuaan makmal. Bagi tujuan data kawalan dan perbezaan, prestasi kedua-dua pengikat tanpa pengusuaan ditentukan. Siri ujian yang dijalankan adalah ujian penusukan, ujian titik lembut, ujian kilasan, ujian kelikatan dan ujian ricih dinamik rheometer.
- 1) Fasa kedua melibatkan rekabentuk campuran asfalt berliang. Penggredan cadangan asfalt berliang dari himpunan beberapa siri penggredan luar negara ditentukan hasil dari ujian kebolehtelapan dan keliangan campuran. Kandungan pengikat reka bentuk bagi setiap penggredan dikira dari hasil ujian aliran bitumen dan ujian lelasan Cantabro.
- 2) Pada fasa ketiga, sampel campuran asfalt menggunakan pengikat yang berbeza di hasilkan dan dikenakan simulasi pengusuaan di makmal. Prestasi sampel kesan pengusuaan dibuat perbandingan. Siri ujian prestasi yang dilakukan keatas sampel adalah ujian kebolehtelapan, ujian Cantabro, ujian kebingkasan 5 denyutan dan ujian kekuatan tegangan tak langsung. Kesemua ujian dilakukan berdasarkan piawaian AASHTO (AASHTO, 2002).

1.4 Justifikasi Kajian

Jalan raya di Malaysia terdedah kepada curahan air hujan hampir sepanjang tahun. Ini menyebabkan rintangan kelincir menurun ketika permukaan jalan basah. Pergerakan kenderaan berat dalam suasana hujan menghasilkan percikan dan

semburan yang mengganggu kebolehlihatan lalu membahayakan aktiviti pemanduan terutama ketika memotong. Penggunaan bahan tahan kelincir tinggi contohnya asfalt berliang dapat meningkatkan keselamatan jalan. Di Malaysia, jalan raya asfalt berliang masih diperingkat percubaan berbanding negara lain yang telah menggunakannya dengan agak meluas. Masalah utama kepada asfalt berliang adalah hayat reka bentuknya yang pendek berbanding asfalt biasa disebabkan pengoksidaan pengikat cepat berlaku kerana kewujudan rongga yang tinggi dalam asfalt berliang. Penggunaan pengikat terpinda SBS dalam asfalt berliang di negara ini menyebabkan peningkatan kos bahan pembinaan jalan raya. Di negara Belanda, hayat reka bentuk turapan asfalt berliang sangat panjang walaupun bitumen konvensional 60/70 digunakan sebagai bahan pengikat.

Menurut Ruiz (1997), alasan utama tidak menggunakan pengikat terpinda adalah untuk mengurangkan kos pembinaan jalan. Penggunaan SBS di dapati menurunkan geseran agregat dalaman kesan permukaan nipis pengikat untuk jangka panjang. Di negara Perancis dan Belanda, kelebihan penggunaan pengikat terpinda dalam campuran asfalt berliang berbanding bitumen lazim tidak memberikan perbezaan yang ketara. Oleh yang demikian, kajian ini bertumpu kepada penilaian penggunaan bitumen 60/70 berbanding SBS sebagai pengikat dalam asfalt berliang dan mengkaji prestasi campuran selepas pengusahaan.

Hasil dari kajian dapat mendatangkan beberapa kebaikan seperti berikut :

- 1) Mengurangkan kos pembinaan asfalt berliang hasil dari penggunaan bitumen 60/70 berbanding penggunaan bitumen terpinda SBS.

- 2) Mencadangkan suatu lagi penggredan agregat dengan memanfaatkan penggredan agregat yang digunakan di luar negara.

1.5 Organisasi Tesis

Tesis merumuskan latar belakang, kajian lampau, metodologi serta analisis kajian dan disediakan dalam susunan bab seperti berikut:

- ❖ Bab 1 (Pengenalan) menghuraikan fungsi jalan raya dan penggunaan lapisan asfalt berliang, pernyataan masalah, skop, objektif serta justifikasi kajian.
- ❖ Bab 2 (Kajian Literatur) menjelaskan tentang mekanisma kajian, ulasan dan keputusan dari penyelidik terdahulu yang berkaitan ciri bahan pengikat serta kaedah pengusuaian yang dijalankan.
- ❖ Bab 3 (Bahan dan Metodologi) memperincikan sifat bahan yang digunakan serta kaedah ujian yang dijalankan untuk menilai prestasi campuran.
- ❖ Bab 4 (Penyediaan Spesimen dan Peralatan) memfokuskan kepada metodologi kajian yang melibatkan kaedah penyediaan sampel campuran serta pengikat dan penerangan tentang kegunaan peralatan ujian sampel seperti ujian kebolehtelapan, kebingkasan, lelasan Cantabro dan ujian tegangan tak langsung.
- ❖ Bab 5 (Pengubahsuaian Penggredan Agregat) menjelaskan kaedah pengubahsuaian penggredan agregat hasil dari himpunan penggredan yang di aplikasikan di negara lain serta ujian yang dijalankan untuk penentuan ciri asfalt berliang.
- ❖ Bab 6 (Penentuan Kandungan Pengikat Rekabentuk) memaparkan kaedah serta membincangkan keputusan untuk mengenalpasti kandungan pengikat

reka bentuk asfalt berliang. Penentuan nilai maksimum dan minimum dijelaskan dari keputusan ujian aliran pengikat dan lelasan Cantabro.

- ❖ Bab 7 (Analisis Keputusan dan Perbincangan) mempersembahkan hasil analisis keputusan serta perbandingan ciri pengikat dan campuran. Data penting dianalisis secara statistik menggunakan perisian Minitab.
- ❖ Bab 8 (Kesimpulan dan Cadangan) merumuskan kesimpulan utama daripada hasil kajian dan menyarankan beberapa kajian susulan di masa depan.

1.6 Kesimpulan

Penggunaan campuran asfalt berliang sebagai bahan permukaan turapan di Malaysia agak baru jika dibandingkan dengan campuran konvensional seperti konkrit asfalt. Namun begitu, pelbagai kajian telah dijalankan untuk menghasilkan satu permukaan jalan yang selamat dan selesa kepada pengguna. Beberapa kajian tapak telah dijalankan menggunakan asfalt berliang untuk mendalami potensi bahan ini. Walau bagaimanapun, kajian ke atas pengusahaan campuran asphalt berliang kurang diberi perhatian. Peningkatan kos hasil penggunaan pengikat terpinada SBS membantutkan aplikasi asfalt berliang secara meluas. Justeru, kajian dijalankan bagi mengenalpasti permasalahan ini seterusnya mencadangkan alternatif lain untuk meningkatkan keberkesanan penggunaan asfalt berliang di negara ini. Kajian bermula dengan mengkaji ciri fizikal dan reologi bitumen dan campuran yang terdedah kepada pengusahaan jangka pendek dan jangka panjang. Keputusan kajian diharap dapat menghasilkan satu pendekatan baru untuk menggantikan pengikat terpinada SBS kepada pengikat konvensional serta penghasilan penggedaran agregat asfalt berliang yang lebih berprestasi.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.0 Pendahuluan

Jalan raya yang dihajatkan adalah jalan raya yang dapat memberikan keselesaan dan keselamatan kepada pengguna. Memandu di jalan raya yang menakung air mencetuskan pelbagai masalah keselamatan lalu lintas. Pembinaan kamber jalan dan sistem saliran air di sepanjang jalan raya berturap adalah satu kemestian untuk mengatasi masalah penyaliran air di jalan raya. Penyaliran air permukaan bertujuan untuk melindungi lebuhraya daripada kesan kemusnahan air. Risiko mengabaikan kesan penyaliran permukaan menyebabkan penurunan rintangan kelincir, mewujudkan fenomena percikan dan penyemburan ketika hujan, menyebabkan berlakunya penyatahan air serta perlucutan bitumen daripada agregat.

Penggunaan permukaan asfalt berliang dapat mengurangkan masalah ini. Dalam campuran asfalt berliang, lebih 85% pecahan agregatnya terdiri daripada agregat kasar. Justeru, pekali kebolehtelapannya tinggi kerana struktur campuran yang berliang. Nilai keliangannya tinggi iaitu melebihi 20%. Nilai keliangan juga dipengaruhi oleh penggunaan bahan pengikat. Selain daripada pemilihan jenis bahan pengikat, penentuan kandungan pengikat dalam campuran asfalt berliang perlu diberikan perhatian. Penggunaan kandungan pengikat yang tinggi mengakibatkan pengaliran pengikat. Jika sebaliknya, kebolehtahanlasakan campuran asfalt akan menurun (Daines, 1992). Prestasi campuran asfalt berliang bergantung kuat kepada ikatan di antara zarah agregat yang

terhasil dari rekatan pengikat. Walau bagaimanapun, peningkatan keliangan menurunkan kebolehtahanlasakan campuran .

2.1 Asfalt Berliang

Asfalt berliang mengandungi struktur terbuka yang terdiri daripada agregat bersaiz kasar dan hanya sedikit agregat halus. Secara lazim, penggunaan asfalt berliang dapat meningkatkan kebolehtelapan permukaan, mengurangkan hingar dan meningkatkan rintangan geseran permukaan jalan raya terutamanya pada cuaca hujan dan keadaan basah. Asfalt berliang berbeza dengan asfalt tumpat kerana ianya mempunyai struktur terbuka iaitu lompong udara di antara 2 hingga 25% (Elvik, 2000).

Di Amerika Syarikat, asfalt berliang sering digunakan untuk medan letak kenderaan. Keupayaan air permukaan turapan mengalir dan menyusup terus ke lapisan tanah di bawah turapan memberikan kelebihan penggunaan asfalt berliang. Sejak tahun 1970, kajian dan pengubahsuaian bahan campuran asfalt berliang telah membuatkan kebanyakan jurutera perunding mengambil tindakan segera dalam pencarian maklumat penambahbaikan campuran asfalt ini (NAPA, 2004).

Asfalt berliang turut mendapat perhatian para perunding dan jurutera di Jabatan Kerja Raya Malaysia. Dengan rekabentuk yang sempurna, asfalt berliang dapat memberikan kos yang efektif dan turapan yang menarik dengan jangka hayat lebih lama. Pengubahsuaian bahan dan penggredan agregat berupaya meningkatkan prestasi turapan ini untuk kegunaan di pelbagai keadaan jalan.

2.2 Bitumen

Menurut Brown (1991), bitumen merupakan bahan yang terhasil secara semulajadi atau dari proses penghasilan minyak mentah. Ia terhasil dari pereputan tumbuhan dan organisma laut yang mendap bersama lumpur laut. Mendapan ini diselerakkan dibawah lapisan-lapisan batuan di dasar laut. Bitumen sangat sesuai digunakan sebagai bahan dalam campuran asfalt kerana sifatnya yang kuat, daya lekatan, kalis air dan tahan lasak. Ia bersifat pepejal, separa pepejal atau cecair bergantung kepada suhu serta mudah untuk dicairkan melalui proses pemanasan atau penggunaan bahan pelarut. Masalah utama bitumen pada suhu rendah ialah ia boleh menjadi rapuh dan meretak apabila ditindaki beban yang berulang (Asfalt Institute, 1993). Mutu dan ciri-ciri bitumen perlu dikawal supaya turapan berbitumen yang dihasilkan bermutu tinggi. Kawalan ini boleh dibuat melalui ujian dan spesifikasi seperti di Jadual 2.1 yang menunjukkan spesifikasi JKR untuk bahan bitumen.

Jadual 2.1: Spesifikasi Bahan Bitumen Menurut JKR (JKR, 2008)

Ciri-Ciri	Gred Penusukan	
	60/70	80/100
Penusukan Pada 25°C	60-80	80-100
Titik Kilat (°C)	Tidak Kurang 250	Tidak Kurang 225
Kemuluran pada 25°C	Tidak Kurang 100 cm	Tidak Kurang 100 cm
Titik Lembut (°C)	Tidak Kurang 48 dan Tidak melebihi 56	Tidak Kurang 45 dan Tidak melebihi 52

Pendedahan bitumen kepada haba, sinar ultra-ungu dan pengoksidaan mengakibatkan bahan pengikat mengalami pengerasan dan perubahan reologi ke atas pengikat berlaku.

2.2.1 Komposisi Bitumen

Mezger (1996) menyatakan bahawa bitumen adalah bahan buangan hasil daripada proses penyejatan bahan molekul rendah seperti gas asli atau pemecahan bahan minyak mentah lain. Dalam bahan ini, 90 hingga 95 peratus berat bitumen adalah karbon dan hidrogen. Zarah nitrogen, oksigen dan sulfur yang tertinggal dalam proses ini sering menukarkan zarah karbon dalam bitumen. Jadual 2.2 menunjukkan peratusan komposisi sebatian bitumen. Komposisi sebenar bergantung kepada sumber dan cara penghasilan bahan dan kesan pengusuaian.

Bitumen mengandungi sedikit logam kecil vanadium, nickel, besi, magnesium dan kalsium yang terhasil dari pembentukan garam tidak berorganik dan teroksida dalam struktur koloid. Keadaan ini menyumbang kepada keunikan komposisi sebatian dan ciri fizikal bitumen dengan meningkatkan tindakbalas yang berlaku antara molekul (Brown,1991).

Jadual 2.2: Peratusan Komposisi Sebatian Bitumen (Brown, 1991)

Komposisi	Peratusan (%)
Karbon	82 – 88
Hidrogen	8 – 11
Sulfur	0 – 6
Oksigen	0 – 1.5
Nitrogen	0 - 1

Komposisi kimia dalam bitumen agak kompleks. Menurut Brown (1991), analisis lengkap bitumen tersangat rumit dan agak mustahil untuk dijalankan kerana ia menghasilkan banyak data berkait ciri reologi bitumen. Kajian terdahulu oleh Petersen (1984) mengelaskan komposisi molekul asphalt kepada pecahan kumpulan asphaltens, resin, aromatik dan saturat. Walau bagaimanapun, pengumpulan data kepada dua kumpulan kimia yang luas boleh dihasilkan dengan menamakannya sebagai kumpulan *asfalten* dan *maltenes*. Walau bagaimanapun, Whiteoak (1990) menyatakan bahawa kumpulan komposisi kimia *maltenes* boleh di pisahkan kepada tiga unsur lain iaitu aromatik, resin dan saturat.

2.2.1a Asfalten

Asfalten merupakan n-haptane tidak larut dan berwarna hitam dengan penambahan karbon dan hydrogen, sedikit nitrogen, sulfat dan oksigen. Asfalten kebiasaannya dikenali sebagai bahan yang mempunyai polar yang tinggi dan aromatik yang kompleks terhadap berat molekul sederhana tinggi. Kebanyakan data pengujian memberikan nilai berat molekul asfalten antara 1,000 hingga 100,000 dalton. Ia mempunyai saiz zarah antara 5nm hingga 30nm dan nisbah hidrogen terhadap karbon sebanyak 1:1. Peningkatan kandungan asfalten menjadikan bitumen lebih keras dan merendahkan nilai penusukan bitumen, meningkatkan titik kelembutan dan kelikatan bahan (Whiteoak, 1990). Selain itu, kajian yang dilakukan oleh Brown (1991) juga melaporkan bahawa sebanyak 5% hingga 25% asfalten berada di dalam bahan bitumen. Peningkatan peratusan bahan ini meningkatkan kekerasan bitumen.

2.2.1b Resin

Resin adalah bahan yang larut dalam n-heptane (Whiteoak, 1990). Sama seperti asfalten, ia juga banyak terubah oleh kehadiran karbon dan hidrogen serta mengandungi sedikit oksigen, sulfur dan nitrogen. Berwarna keperangan, berkeadaan pepejal dan separa pepejal serta mempunyai rangkaian struktur polar yang sangat tinggi dalam keadaan semulajadi. Hal yang demikian menjadikannya bahan pengikat yang baik dan membantu penyebaran asfalten dalam bitumen. Menurut kajian Brown (1991), nisbah resin terhadap asfalten akan mengawal darjah kelarutan dan kelekitan bitumen. Kandungan resin dalam bitumen mengikut julat timbangan berat molekul adalah di antara 500 hingga 50,000 dalton dan saiz zarah antara 1 nm hingga 5 nm. Bagi nisbah hidrogen terhadap karbon adalah sebanyak 1:3 hingga 1:4.

2.2.1c Aromatik

Aromatik adalah sebatian yang mengandungi berat molekul terendah bahan *naphthenic aromatic* di dalam bitumen. Ia menjadi media penyebaran utama kepada *peptised asfalten*. Aromatik berkeadaan cecair likat berwarna coklat dan terdapat sebanyak 40 hingga 65% dalam bitumen. Purata julat timbangan berat molekul adalah di antara 300 hingga 2000 dalton. Ia terdiri daripada rantaian karbon rendah dan bersifat mudah larut terhadap berat molekul tinggi hidrokarbon (Brown, 1991).

2.2.1d Saturat

Menurut Whiteoak (1990), saturat meliputi rantaian lurus hidrokarbon alifatik, bersama *alkyl-naphthenes* dan *alkyl-aromatics*. Kesemua bahan ini membentuk minyak likat yang tidak berpolar dan mempunyai kesamaan berat molekul seperti aromatik.

Kandungan bahan ini menghasilkan bitumen berkeadaan likat. Bahan saturat ini menyumbang sebanyak 5 hingga 20% kandungan bitumen.

2.3 Pengikat Terpinda Styrene Butedene Styrene

Keupayaan dan ciri bitumen boleh diperbaiki melalui penambahan bahan tertentu seperti bahan anti oksida, serbuk getah dan polimer. Penggunaan bitumen terubahsuai dikenalpasti berupaya mengatasi masalah pengusiaan bitumen. Peranan bahan tambah dalam bitumen adalah untuk meningkatkan rintangan bitumen terhadap ubahbentuk pada suhu tinggi tanpa menjejaskan ciri asal bitumen pada suhu lain. Peningkatan komponen elastik bitumen akan meningkatkan kebolehlenturan bitumen (Whiteoak, 1990).

Beberapa kajian telah dijalankan untuk mengaitkan hubungan antara sifat pengikat dan sifat campuran yang dihasilkan. Kajian yang dilakukan oleh Choyce (1989), Kosla dan Zahran (1989) melaporkan bahawa penambahan polimer *styrene-butadene-styrene* (SBS) ke dalam bitumen dapat meningkatkan rintangan kepada ubah bentuk kekal campuran. Rintangan pelucutan campuran berdasarkan kestabilan Marshall, menunjukkan keupayaan pengikat terpinda SBS meningkatkan rintangan pelucutan dan kemusnahan lembapan campuran asfalt (Beecken, 1992), (Chuan, 1998). Walau bagaimanapun, Summers (2000), menyimpulkan bahawa SBS merupakan suatu getah termoplastik dan mula digunakan di dalam pengeluaran tayar dan tapak kasut tetapi ia sesuai untuk pengubahsuaian bitumen.

Blok termoplastik yang terdapat dalam rangkaian sebatian SBS meningkatkan prestasi bitumen. Penambahan bahan SBS meningkatkan rintangan penusukan,

meningkatkan suhu kelembutan, memperbaiki rintangan kemuluran pada suhu rendah serta menambah kelikatan pada suhu perkhidmatan yang tinggi (Sabita, 1995).

Airey (2003) menyatakan bahawa penggunaan bahan polimer untuk pengubahsuaian bitumen telah membangun dengan cepat. Kajian literaturnya mendapati bitumen pengubahsuaian yang paling banyak digunakan adalah *Elastomer* SBS diikuti polimer lain seperti *Ethylene Vinyl Acetate* dan *Polyethylene*.

Mengikut spesifikasi JKR (2008), prestasi gred pengikat PG76 atau lebih tinggi perlu dicapai dengan menambah peratusan bahan polimer yang sesuai terhadap pengikat gred penusukan 70 hingga 100 dengan mematuhi MS 124 (1996). Ciri pengikat terpinda perlu mematuhi ciri yang dirumuskan dalam Jadual 2.3.

Jadual 2.3: Spesifikasi Pengikat Terpinda Polimer (JKR, 2008)

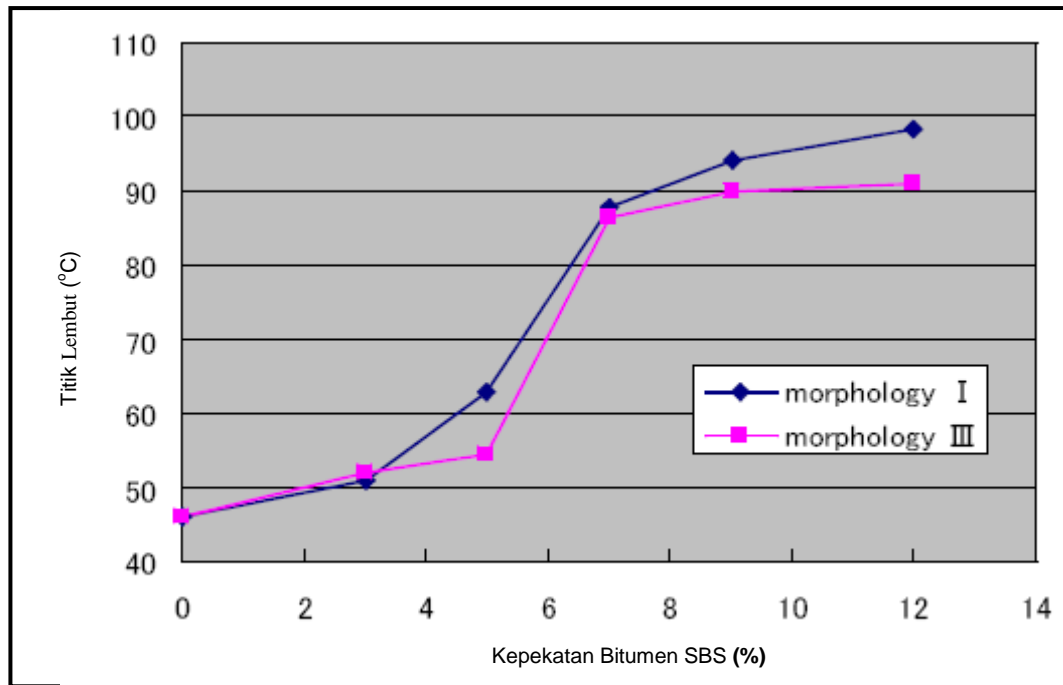
UJIAN	KEPERLUAN	PIAWAIAN
PMB sebelum ujian lapis nipis berputar (RTFOT)		
Kelikatan, maksimum 3 Pa.s, suhu ujian °C	135	ASTM D 4402
Ricih dinamik, $G^*/\sin \delta$ minimum 1.00 kPa, 10 rad/s, suhu ujian °C	76	AASHTO T 315
Penusukan, 100 g, 5 s, 25 °C, 0.1 mm	Laporan	ASTM D 5
Cincin dan bola takat lembut, minimum, °C	60	ASTM D 36
Takad nyala, minimum, °C	230	AASHTO T 48
Ujian Kepekaan lembapan, minimum, %	80	AASHTO T 283
Pengeluaran Gas Toksik, maksimum, mg/m^3	15	
PMB selepas RTFOT (AASHTO T 240) atau ASTM D 2872		
Kehilangan jisim, maksimum, %	1.00	AASHTO T 240 or ASTM D 2872
Ricih dinamik, $G^*/\sin \delta$ minimum 2.20 kPa, 10 rad/s, suhu ujian °C	76	AASHTO T 315

Peningkatan sifat pengikat dengan bahan tambah SBS telah terbukti di lapangan dan ujian di makmal. Pengikat terpinda perindustrian umumnya diubahsuai dengan satu atau lebih bahan tambah seperti '*Atactic Polypropylene*' (APP) atau '*Styrene Butadiene Styrene*' (SBS). Pengubahsuaian ini mewujudkan komposisi baru pengikat terpinda seterusnya dapat meningkatkan prestasi asphalt. Suhu pencampuran perlu ditingkatkan sebanyak 10 hingga 20°C jika pengikat terpinda digunakan tanpa memerlukan pengubahsuaian kaedah mahupun peralatan proses pengaulan. Dalam satu ujian jejak roda, nilai ubah bentuk sampel yang menggabungkan pengikat terpinda pen 200 dengan 6%

SBS adalah bersamaan dengan ubah bentuk sampel pengikat lazim pen 50/60.
(<http://asfaltrofing.org/publication.html>)

Campuran menggunakan pengikat terpinda SBS mempamerkan rintangan lebih besar terhadap retakan dan perlucutan serta mengurangkan ubah bentuk kekal, penggelupasan dan pengaruh suhu. Pengikat SBS telah banyak diaplikasikan dan menunjukkan prestasi yang baik di kawasan bertegasan tinggi seperti jalan raya berisipadu lalu lintas yang tinggi, landasan kapal terbang, kawasan pelabuhan dan litar perlumbaan. Ciri fizikal pengikat terpinda SBS bersifat elastik yang lebih baik, titik lembut yang tinggi, peningkatan kelikatan, kejelekitan yang baik dan lebih mulur.
(<http://www.highwaymaintenance.com/polybitxt.htm>).

Terdapat penemuan yang menghubungkaitkan antara titik lembut bitumen dengan bahan pengikat terubahsuai. Tinjauan oleh Hanyu et al. (2005) melaporkan bahawa titik lembut bitumen SBS meningkat dengan peningkatan kandungan SBS dalam bitumen. Kandungan SBS kurang dari 7%, titik lembut yang dihasilkan berada di antara 48°C hingga 55 °C manakala kandungan melebihi 7%, titik lembut yang dicatatkan ialah sebanyak 92°C. Rajah 2.1 menunjukkan kehubungan titik lembut bitumen dengan komposisi bahan peminda SBS.



Rajah 2.1: Kandungan SBS Melawan Titik Lembut (Hanyu et al., 2005)

2.4 Pengusiaan

Pengusiaan melibatkan peningkatan masa dan seterusnya menyebabkan bahan mengalami proses pengoksidaan. Dalam cuaca panas, turapan asphalt lazimnya akan mengalami pengerasan usia dengan lebih cepat sehingga memerlukan penyenggaraan yang lebih kerap. Pengerasan usia menyebabkan asphalt menjadi keras dan rapuh dan menyebabkan lapisan turapan menjadi tidak kenyal seterusnya menyebabkan mudah retak dan pecah. Pengusiaan bitumen bermula seawal penghasilan bahan bitumen di loji penapisan. Pengusiaan bitumen terjadi dari dua proses iaitu peruwapan dan pengosidaan.

2.4.1 Pengusiaan Pengikat

Bitumen terhasil daripada proses penapisan minyak mentah di loji penapisan. Penghasilan bitumen melalui proses ini secara tidak langsung menunjukkan bahan ini

mengandungi komposisi bahan yang mudah meruap pada suhu tinggi. Penghasilan bitumen di loji penapisan pada suhu antara 350 hingga 400°C menjadikan bahan ini kurang meruap pada suhu bancuhan dan pemadatan. Menurut Bahia dan Anderson (1994), kajian penyelidikan terdahulu merumuskan untuk turapan berbitumen mencapai jangkahayat rekabentuk, turapan perlu dihindari pengerasan melampau ketika penyimpanan, penghasilan atau tempoh khidmat turapan jalan.

Di dalam kajian yang lain, Corbett dan Schweyer (1981), menyatakan pengusiaan bitumen berlaku sebagai akibat perubahan dalam komposisi bahan pengikat. Antara faktor berlakunya pengusiaan bitumen ialah dedahan haba, pengoksidaan, resapan lembapan dan dedahan sinar ultra-ungu. Daripada pelbagai faktor yang mempengaruhi ciri pengusiaan bitumen, pengoksidaan merupakan faktor yang paling berpengaruh (Traxler, 1963; Petersen, 1984; Page et al.1985; Blomberg et al. 1989; Huh, 1996).

Menurut kajiannya ke atas parameter kestabilan asphalt oleh Petersen (1984), perubahan kandungan asphalten mempengaruhi kelikatan dan perubahan komposisi asphalt. Fenomena ini berlaku sebagai akibat perubahan proses fizikal kesan proses pengusiaan.

Menurut Vallerger (1981) dan Bell (1989), pengerasan bitumen disebabkan oleh peningkatan suhu dalam komponen asphalt semasa proses pembinaan dan pengoksidaan yang berterusan semasa peletakan di tapak. Kedua-dua faktor ini meningkatkan kelikatan pengikat dan campuran asphalt menjadi lebih tegar. Keadaan ini menyebabkan campuran mudah mengukuh dan mengalami kegagalan retak. Pengoksidaan juga

menyebabkan ketahanan lasakan campuran menurun berbanding campuran tanpa usia dalam rintangan terhadap penghausan dan kemusnahan lembapan.

Kenyataan Vallerga (1981) dan Bell (1989), turut disokong oleh Brown (1991) dan Herrington et al. (2005), bahawa bitumen yang kebiasaannya dihasilkan daripada banyak bahan organik akan mudah terpengaruh oleh tindakan oksigen, sinaran ultra-ungu ataupun perubahan suhu. Pengaruh luaran ini menyebabkan bitumen mengeras dan menurunkan penusukan, meningkatkan suhu titik lembut dan indeks penusukan.

Pengoksidaan bitumen terjadi secara perlahan apabila ditindaki oksigen (Brown, 1991). Kumpulan polar oksigen ini mempunyai kecenderungan tinggi untuk bersatu dengan berat molekul tertinggi dan dengan sebab itu, kelikatan pengikat akan meningkat. Darjah pengoksidaan banyak bergantung pada suhu, masa dan ketebalan selaput bitumen. Kadar pengoksidaan berlaku sekali ganda bagi setiap peningkatan suhu sebanyak 10°C. Penyejatan bahan meruap bergantung tinggi terhadap suhu dan keadaan pendedahan. Bitumen gred penusukan tidak banyak dipengaruhi bahan meruap. Oleh itu, kadar pengerasan yang disebabkan kehilangan meruap sangatlah kecil. Pengerasan fizikal bitumen pula terjadi bila bitumen berada pada keadaan suhu sekitaran. Pada keadaan ini molekul pengikat cuba membentuk semula kedudukan dan bahan berlilin saturat dalam bitumen secara perlahan memulakan penghabluran. Ia akan berubah bentuk ketika pemanasan semula bitumen dilakukan.

Tallafigo (1993) dalam kajiannya terhadap perubahan komposisi kimia bitumen terusia merumuskan bahawa pengoksidaan berlaku apabila oksigen dalam atmosfera

bertindak dengan komponen bitumen yang mempunyai ciri polariti yang tinggi. Daya interaksi molekul yang kuat menyebabkan bahan pengikat berkeadaan kenyal.

Fort dan Smith (1998) merumuskan bahawa ujian PAV dan pendedahan turapan di tapak menunjukkan bahawa faktor pengusiaan memberi kesan kepada spesifikasi bitumen. Seperti keadaan ciri pengikat pengusiaan ujian PAV makmal, persekitaran juga menyebabkan berlaku pengusiaan bitumen. Pengusiaan makmal mampu memberikan kesan pengusiaan yang menyamai kesan pengusiaan bitumen di tapak dalam tempoh yang lebih cepat. Jadual 2.4 membuktikan pengusiaan makmal boleh dijalankan bagi mensimulasi kesan pengusiaan pengikat di tapak.

Jadual 2.4: Pengusiaan Di Makmal Dan Tapak (Ford dan Smith, 1998)

Tapak Pendedahan (Sampel ditutupi oleh serpihan UK)	Tempoh Untuk Mencapai PAI ₂₅ Sebanyak 0.25			
	Bitumen Gred Penuskan		Cut-back Polimer terubahsuai	
	PAV (jam)	Ujian Lapangan (bulan)	PAV (jam)	Ujian Lapangan (bulan)
Dar es Salam	34	13	73	50
Dodoma		18		56
Filipina		14		39
St.Lucia		19		28

Cheung dan Cebon (1997) melaporkan bahawa kesan pengusiaan dipengaruhi terutamanya oleh peningkatan suhu. Ini dibuktikan dari hasil kajian yang menunjukkan kelikatan meningkat dengan peningkatan suhu pengusiaan.

Selain itu, Wu et al. (2008), dalam kajiannya ke atas sampel pengikat lazim dan pengikat SBS mendapati pengoksidaan, tindakan hidrogen dan tindak balas di antara

kedua-duanya terjadi pada masa yang sama ketika proses pengusiaan pengikat. Keadaan ini membentuk banyak kumpulan *carbonyl* dan *sulphoxide* yang mengubah sifat fizikal pengikat. Semakin meningkat kadar pengoksidaan semakin banyak terhasilnya dua kumpulan ini. Walau bagaimanapun, peratusan indeks *carbonyl* dan *sulphoxide* didapati kurang berlaku terhadap pengikat SBS berbanding pengikat lazim dan secara langsung menunjukkan kedua-dua unsur ini kurang mempengaruhi pengikat SBS ketika pengoksidaan.

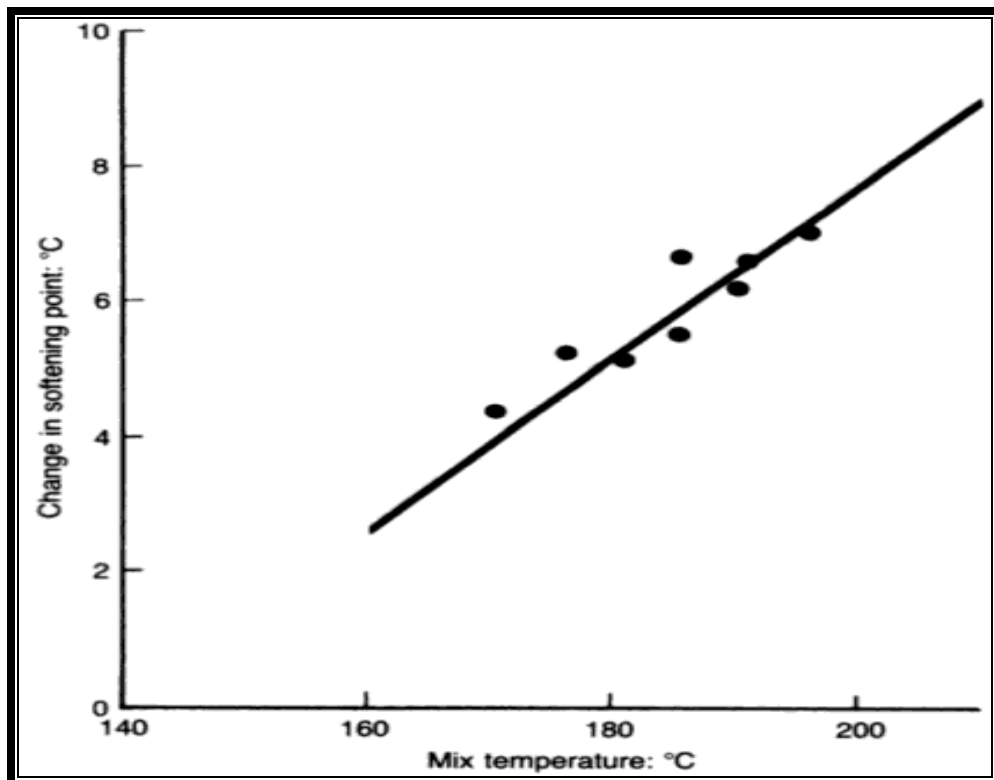
2.4.2 Pengusiaan Campuran Asfalt Berliang

Kebanyakan kajian pengusiaan bertumpu kepada pengusiaan bahan pengikat berbanding kajian pengusiaan ke atas campuran asfalt. Pengusiaan terhadap campuran asfalt adalah penting bagi melihat dan menilai perubahan kestabilan campuran kesan tindakan pengoksidaan.

Menurut tinjauan Brown (1991), semasa proses pencampuran, agregat akan diselaputi lapisan pengikat nipis ketebalan di antara 5 mikron hingga 15 mikron. Ketebalan campuran asfalt terpadat sebanyak 1 tan, boleh menghasilkan hamparan lapisan nipis pengikat seluas kira-kira 10,000 m² iaitu menyamai purata 1.5 keluasan padang bola sepak. Oleh itu, lapisan nipis pengikat yang menyaluti agregat mudah mengalami proses pengoksidaan dan pemeruapan.

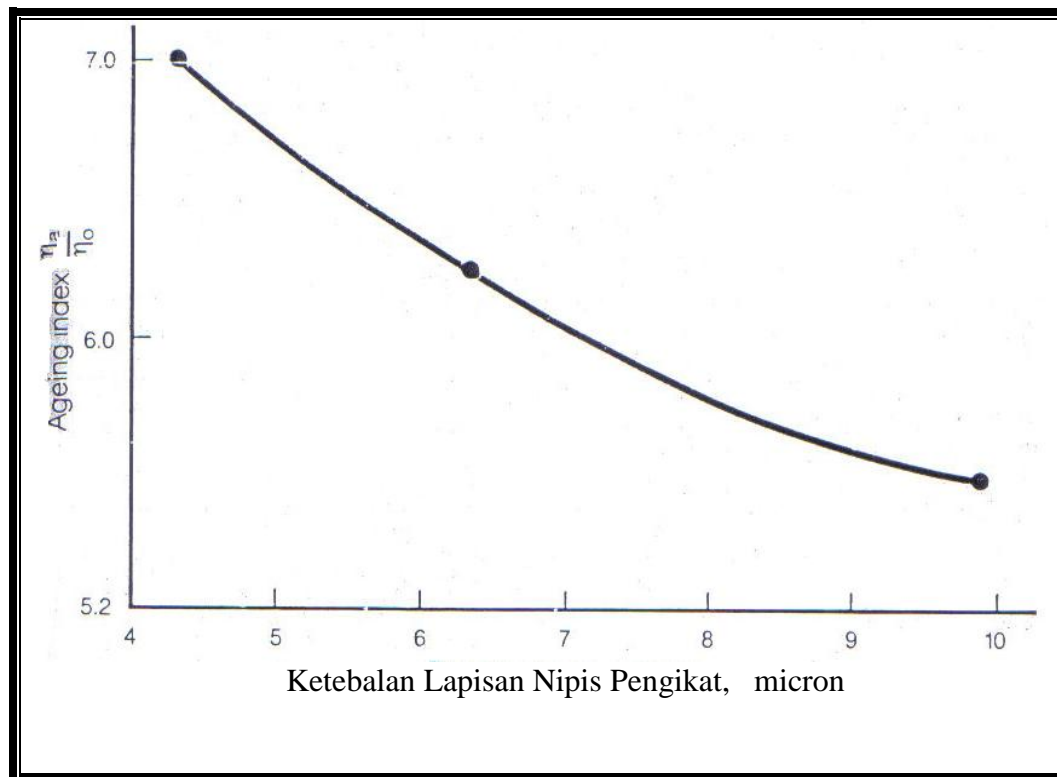
Kajian kebolehkeraan asfalt sebagaimana yang telah dilaporkan oleh Whiteoak dan Fordyce (1989) menjelaskan bahawa kadar peruapan bergantung kepada beberapa

faktor seperti suhu, tempoh penggaulan campuran, jenis dan kandungan pengikat. Keputusan kajian ke atas pengikat pada Rajah 2.2 memperlihatkan peningkatan suhu penggaulan campuran sebanyak 5.5°C pada 30 saat penggaulan meningkatkan suhu titik lembut sebanyak 1°C.



Rajah 2.2: Hubungan Antara Peningkatan Suhu Terhadap Perubahan Titik lembut (Whiteoak dan Fordyce, 1989)

Dalam kajian Griffin et al. (1955) terhadap ketahanan lasakan pengikat mendapati peningkatan ketebalan lapisan nipis pengikat menyebabkan penurunan indeks pengusiaan iaitu nisbah kelikatan terusia berbanding tanpa terusia. Keputusan kajian yang dijalankan ditunjukkan dalam Rajah 2.3.



Rajah 2.3: Kesan Ketebalan Lapisan Nipis Pengikat Terhadap Indek Pengusiaan (Griffin et al., 1955)

Selain komposisi bitumen, suhu banyak mempengaruhi pengusiaan bitumen di lapangan. Walau bagaimanapun, Bahia dan Anderson, (1994), dalam kajian pengusiaan terhadap beberapa jenis pengikat mendapati pengaruh suhu meningkatkan nilai G^* iaitu satu parameter penting yang mencirikan kelakuan pengikat. Pengusiaan bergantung kepada gred bitumen. Walau bagaimanapun, pengusiaan ke atas semua jenis pengikat berlaku dengan peningkatan suhu. Keputusan kajian di perlihatkan dalam Rajah 2.4.