



PEMANTAUAN DAN PENILAIAN RETAK LESU KE ATAS TALIAN PAIP GAS
DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PANCARAN AKUSTIK

MOHD FADHLAN BIN MOHD YUSOF

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
SARJANA SAINS

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2012

ABSTRAK

Fenomena kegagalan lesu dalam talian paip gas sewajarnya dikesan sejak peringkat awal lagi kerana akibatnya yang sangat buruk, dan aplikasi teknologi pancaran akustik dijangka sesuai untuk tujuan ini. Objektif utama projek ini adalah untuk mengkaji korelasi antara isyarat pancaran akustik dengan peringkat-peringkat tertentu dalam mekanisme lesu bagi keluli talian paip API 5L X70 yang jarang ditemui sebelum ini. Bagi mencapai objektif tersebut, ujian makmal telah dilakukan dan dibahagikan kepada dua bahagian iaitu ujian tegangan dan ujian lesu. Ketika ujian lesu, spesimen dikenakan tegasan berkisar balikan sepenuhnya dengan frekuensi bebanan 5Hz dan amplitud tegasan sebanyak 65%, 60%, 58% dan 53% daripada tegasan muktamad. Isyarat pancaran akustik turut dicerap daripada kedua-dua bahagian ujian tersebut. Selain ujian makmal, ujian lapangan turut dilakukan dengan mencerap isyarat pancaran akustik daripada bahagian simpang talian paip gas yang sedang beroperasi untuk tujuan perbandingan. Berdasarkan keputusan ujian tegangan yang dilakukan terhadap keluli API 5L X70, didapati bahawa nilai tegasan alah, tegasan muktamad dan terikan keseluruhan yang dicatatkan masing-masing adalah 637.8 MPa, 706.5 MPa, dan 0.246 mm/mm. Hasil kajian korelasi isyarat pancaran akustik dengan lengkung tegasan-terikan bagi keluli API 5L X70 telah menunjukkan bahawa aktiviti pancaran akustik sangat aktif pada ubah bentuk elastik. Korelasi isyarat pancaran akustik dengan ujian lesu bagi spesimen yang dikenakan tegasan amplitud yang berlainan telah menunjukkan bahawa trend taburan aktiviti pancaran akustik yang dicerap dapat dibahagikan kepada tiga peringkat. Ketiga-tiga peringkat ini sangat dipengaruhi oleh fenomena pengerasan berkisar dan perlembutan berkisar yang berlaku semasa beban berkisar dikenakan. Analisis ciri-ciri pancaran akustik bagi isyarat-isyarat yang terjana pada ketiga – tiga peringkat di dalam mekanisme lesu menunjukkan bahawa nilai frekuensi dominan bagi isyarat-isyarat domain frekuensi daripada mekanisme lesu dengan operasi sebenar talian paip telah menunjukkan perbezaan. Nilai frekuensi dominan yang dicatatkan pada peringkat kedua dan ketiga dalam mekanisme lesu masing-masing berada pada julat antara 314 kHz hingga 364 kHz, dan 312 kHz hingga 380 kHz. Manakala nilai frekuensi dominan bagi isyarat domain frekuensi daripada ujian lapangan berjulat antara 50.05kHz hingga 68.36 kHz. Namun, perbandingan nilai frekuensi dominan bagi isyarat-isyarat yang dicerap pada ketiga-tiga peringkat semasa mekanisme lesu tidak menunjukkan perbezaan yang jelas. Keputusan analisis parameter statistik bagi isyarat-isyarat domain masa pancaran akustik daripada ujian lesu dan ujian lapangan menunjukkan bahawa nilai kurtosis hanya dapat memberikan perbezaan antara isyarat yang dicerap daripada ujian lapangan dan peringkat retak sahaja. Oleh itu analisis komponen utama telah diaplikasikan dan analisis ini ditemui berupaya untuk membezakan isyarat-isyarat domain frekuensi daripada ketiga-tiga peringkat semasa mekanisme lesu dan operasi sebenar talian paip gas. Modifikasi persembahan keputusan analisis komponen utama dengan mengaplikasikan plot dendrogram telah menunjukkan perbezaan kelompok isyarat pancaran akustik daripada peringkat yang berbeza dengan lebih jelas. Isyarat pancaran akustik yang dicerap daripada lapangan turut berada pada kelompok yang sangat berbeza daripada kelompok isyarat-isyarat daripada mekanisme lesu. Secara keseluruhannya, dapat dirumuskan bahawa korelasi isyarat pancaran akustik dengan mekanisme lesu dapat dijadikan panduan di dalam memantau dan menilai fenomena lesu dalam talian paip semasa operasi.

MONITORING AND ASSESSMENT OF FATIGUE CRACK IN GAS PIPELINE USING ACOUSTIC EMISSION TECHNOLOGY

ABSTRACT

The detection of early fatigue phenomena in a gas pipeline system is crucial in order to avoid the catastrophic consequences, and the application of acoustic emission (AE) technology is expected to be suitable for this purpose. The main objective of this project is to study and analyse the correlation between AE signatures with the different stages in fatigue mechanism of API 5L X70 steel. In order to achieve the objective, the tensile test and fatigue test were conducted in the laboratory. Four fully reverse fatigue test were conducted with frequency of 5 Hz and constant stress amplitude of 65%, 60%, 58% and 53% of the ultimate strength respectively. The AE signatures were also captured during both tests. In addition, the field test was also being done by commencing acoustic emission signatures from in-operation gas pipeline at the junction section for comparison purpose. Based on the tensile results, it was found that the tensile strength, ultimate strength and overall strain of API 5L X70 were 637.8 MPa, 706.5 MPa, and 0.246 mm/mm respectively. The correlation results between AE signatures and the stress-strain curve of API 5L X70 have shown that the AE activities were very active during the elastic deformation. The correlations between the captured AE signatures and different stages of fatigue mechanism have shown that the AE activities can be divided into three stages. All those three stages were highly influenced by the cyclic hardening and the cyclic softening phenomena during the cyclic loading. The analysis of AE signatures using AE features have shown that the dominant frequencies were sensitive and capable of differentiating the AE frequency spectrums from the fatigue mechanism and field measurement. The dominant frequencies of the AE frequency spectrums from second and third stage of the fatigue mechanism have shown the values within the range of 314 kHz to 364 kHz, and 312 kHz to 380 kHz respectively. Moreover, it was found that the dominant frequencies of the AE frequency spectrums from the field measurement have shown the values within the range of 50.05 kHz to 68.36 kHz. However, the dominant frequencies of the AE frequency spectrums from different stages of the fatigue mechanism have not show a clear comparison. Based on the analysis of statistical parameters, it was found that the application of kurtosis was only sensitive and capable of recognizing the time domain AE signatures from the appearing of crack at the last stage of the fatigue mechanism. Therefore, the principle component analysis (PCA) was utilised and the PCA was found to be highly sensitive and able to differentiate the AE frequency spectrums from different stages of the fatigue mechanism and the field measurement. The clustering of the principle components using dendrogram diagram has successfully and significantly differentiate all the AE frequency spectrums from different stages of the fatigue mechanism. Interestingly, the AE frequency spectrums from the field measurement appeared to be clustered in a different group from the AE frequency spectrums of the fatigue mechanism. Overall, it can be summarised that the correlation between the fatigue mechanism and generated acoustic emission signatures can be referred as an useful guideline to monitor and assess the fatigue phenomena in the operation of a gas pipeline system.

KANDUNGAN

		Halaman
PENGAKUAN		ii
PENGHARGAAN		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT		v
KANDUNGAN		vi
SENARAI JADUAL		xi
SENARAI RAJAH		xii
SENARAI SIMBOL		xix
BAB 1	PENDAHULUAN	
1.1	Pengenalan	1
1.2	Penyataan Masalah	3
1.3	Objektif Kajian	5
1.4	Hipotesis Kajian	6
1.5	Skop Kajian	7
BAB II	KEUTUHAN DAN KEGAGALAN TALIAN PAIP	
2.1	Pengenalan	9
2.2	Konsep Keutuhan Dan Penilaian Risiko	10
2.3	Mekanisme Kegagalan Talian Paip	13
2.4	Kegagalan Lesu Talian Paip	14
2.5	Kegagalan Monotonik Dalam Bahan Logam	16
	2.5.1 Perubahan elastik	17
	2.5.2 Perubahan plastik	19
2.6	Mekanisme Patah Bahan Logam	20
2.7	Kajian Lesu Bahan Logam	22
	2.7.1 Kajian lesu kawalan tegasan	22
	2.7.2 Kajian lesu kawalan terikan	24

	2.7.3 Respon Bahan Terhadap Beban Berkitar	25
2.8	Mekanisme Lesu Bahan Logam	29
BAB III	PANCARAN AKUSTIK	
3.1	Pengenalan	35
3.2	Isyarat Pancaran Akustik	36
3.3	Sistem Pemerolehan Isyarat Pancaran Akustik	39
3.4	Ciri-Ciri Isyarat Pancaran Akustik	41
3.5	Jenis-Jenis Isyarat Pancaran Akustik	47
3.6	Sumber Isyarat Pancaran Akustik	48
3.7	Kajian Lesu Menggunakan Teknologi Pancaran Akustik	52
BAB IV	ANALISIS STATISTIK ISYARAT PANCARAN AKUSTIK	
4.1	Pengenalan	58
4.2	Parameter Statistik	58
4.3	Analisis Komponen Utama	61
	4.3.1 Kovarian	65
	4.3.2 Vektor-Eigen dan Nilai-Eigen	67
4.4	Pengkelasan Data	68
	4.4.1 Pengukuran jarak taburan data	69
	4.4.2 Pengkelasan data	70
BAB V	METODOLOGI KAJIAN	
5.1	Pengenalan	73
5.2	Ujian Tegangan	74
	5.2.1 Penyediaan sampel	75
	5.2.2 Parameter ujian tegangan	77
	5.2.3 Pencerapan isyarat pancaran akustik	78
5.3	Ujian Lesu	82

5.3.1	Penyediaan sampel	83
5.3.2	Parameter ujian lesu	84
5.3.3	Pencerapan isyarat pancaran akustik	86
5.4	Ujian Lapangan	87
5.5	Analisis Isyarat Pancaran Akustik	87
5.5.1	Korelasi kegagalan bahan dengan isyarat pancaran akustik	88
5.5.2	Analisis komponen utama	90
5.5.3	Pengkelasan data analisis komponen utama	93
5.6	Ringkasan	94
BAB VI	KEPUTUSAN	
6.1	Pengenalan	96
6.2	Ujian Tegangan	96
6.2.1	Korelasi lengkung tegasan-terikan dan aktiviti pancaran akustik	98
6.2.2	Ciri-ciri isyarat pancaran akustik semasa perubahan elastik.	99
6.3	Ujian Lesu	104
6.3.1	Aktiviti pancaran akustik semasa mekanisme lesu	108
6.3.2	Ciri-ciri isyarat pancaran akustik semasa mekanisme lesu	116
6.3.3	Pengekstrakan ciri-ciri konvensional isyarat pancaran akustik daripada mekanisme lesu	125
6.3.4	Pengekstrakan ciri-ciri statistik isyarat pancaran akustik daripada mekanisme lesu.	131
6.3.5	Analisis komponen utama terhadap isyarat domain frekuensi	134
6.3.6	Pengkelasan isyarat domain frekuensi daripada peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu	137
6.4	Ujian Lapangan	140
6.4.1	Isyarat pancaran akustik pada talian paip.	140
6.4.2	Ciri-ciri isyarat pancaran akustik pada talian paip.	142
BAB VII	PERBINCANGAN	
7.1	Pengenalan	145

7.2	Ujian Tegangan	145
	7.2.1 Korelasi lengkung tegasan-terikan dan aktiviti pancaran akustik	147
	7.2.2 Ciri-ciri isyarat pancaran akustik semasa perubahan elastik.	149
7.3	Ujian Lesu	156
	7.3.1 Aktiviti pancaran akustik semasa mekanisme lesu	158
	7.3.2 Ciri-ciri isyarat pancaran akustik semasa mekanisme lesu	162
	7.3.3 Pengekstrakan ciri-ciri konvensional isyarat pancaran akustik daripada mekanisme lesu	166
	7.3.4 Pengekstrakan ciri-ciri statistik isyarat pancaran akustik daripada mekanisme lesu.	169
	7.3.5 Analisis komponen utama isyarat domain frekuensi	170
7.4	Ujian Lapangan	174
7.5	Perbandingan Isyarat Ujian Lesu dengan Isyarat Ujian Lapangan	176
	7.5.1 Perbandingan ciri-ciri konvensional pancaran akustik daripada ujian lesu dan lapangan	176
	7.5.2 Perbandingan ciri-ciri statistik pancaran akustik daripada ujian lesu dan lapangan	180
	7.5.3 Analisis komponen utama dan pengkelasan isyarat domain frekuensi daripada ujian lesu dan lapangan.	182
BAB VIII KESIMPULAN DAN CADANGAN		
8.1	Kesimpulan	186
8.2	Cadangan	189
RUJUKAN		
LAMPIRAN		
A	Komposisi kimia, potongan sampel, arah potongan spesimen dan gambarajah retak spesimen 4 keluli API 5L X70.	
B	Tatacara serta paparan perisian TestXpert II	
C	Tatacara serta paparan perisian Vallen Systeme AMSY-5	

- D Tatacara serta paparan perisian WaveMatrix
- E Kod program ujian lesu
- F Kod program analisis komponen utama dan pengkelasan
- G Senarai penerbitan

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
3.1	Sifat-sifat isyarat pancaran akustik daripada beberapa sumber berbeza	52
5.1	Pilihan saiz spesimen ujian tegangan	76
5.2	Spesifikasi pra-penguat	80
5.3	Nisbah dimensi spesimen ujian lesu kawalan tegasan (ASTM E466-07)	84
6.1	Keputusan ujian tegangan	98
6.2	Keputusan ujian lesu ke atas keluli API 5L X70	105
6.3	Pembahagian kumpulan isyarat yang dianalisis.	118
6.4	Julat dan purata amplitud maksimum dan kiraan pancaran akustik bagi isyarat daripada kumpulan berbeza.	126
6.5	Julat dan tenaga dan frekuensi dominan pancaran akustik bagi isyarat daripada kumpulan berbeza.	127
6.6	Julat dan purata kurtosis dan punca min kuasa dua bagi isyarat domain masa daripada kumpulan berbeza.	132
6.7	Ciri-ciri isyarat domain masa dan domain frekuensi yang dicerap di lapangan	144
7.1	Jumlah isyarat pancaran akustik semasa perubahan elastik keluli API 5L X70	152

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
1.1	Perjalanan talian paip gas di semenanjung Malaysia	2
1.2	Hubungan antara pembolehubah	6
2.1	Proses pemeriksaan berdasarkan risiko	11
2.2	Hubungan antara kebarangkalian dan akibat kepada sesuatu kegagalan	12
2.3	Lengkung tegasan-terikan	17
2.4	Perbezaan sifat elastik keluli karbon dan keluli tahan karat	18
2.5	Penentuan nilai tegasan alah	20
2.6	Pembentukan kehelan yang lain	21
2.7	Lengkung tegasan kitaran	23
2.8	Profil pembebanan bagi ujian lesu balikan sepenuhnya	24
2.9	Lengkung hayat terikan	25
2.10	Respon bahan akibat pembebanan berkitar (a) Respon terikan semasa ujian kawalan tegasan (b) Respon tegasan semasa ujian kawalan terikan	26
2.11	Respon terikan puncak bagi bahan dan amplitud tegasan berkitar yang berbeza.	27
2.12	Respon puncak tegasan sepanjang proses kelesuan keluli A516 Gred 70.	28
2.13	Hubungan terikan dengan jarak gelinciran	29
2.14	Kesan pembebanan terhadap jarak gelinciran	31
2.15	Pembentukan jalur gelinciran.	31
2.16	Kesan pembebanan terhadap kelesuan kitaran sangat tinggi	32
2.17	Pembentukan retak lesu pada liang	33
2.18	Proses perambatan retak	34

3.1	Aplikasi teknologi pancaran akustik terhadap tangki tekanan	37
3.2	Asas sistem pemerolehan pancaran akustik	39
3.3	Pengecaman corak isyarat domain masa	41
3.4	Ciri-ciri isyarat domain masa pancaran akustik	42
3.5	Respon amplitud maksimum sepanjang proses kelesuan talian paip.	44
3.6	Isyarat domain frekuensi pancaran akustik	46
3.7	Isyarat jenis diskret atau cetusan	47
3.8	Isyarat jenis berterusan	48
3.9	Kategori sumber pancaran akustik	49
3.10	Aktiviti isyarat pancaran akustik semasa ubah bentuk monotonik keluli AISI 1010 (a) Keseluruhan (b) Bahagian elastik	50
3.11	Aktiviti pancaran akustik pada keluli struktur berkekuatan tinggi	51
3.12	Hubungan antara kiraan kumulatif pancaran akustik dengan bilangan kitaran	53
3.13	Aktiviti pancaran akustik semasa mekanisme lesu aloi Incoloy 901 bagi amplitud tegasan yang berbeza (a) 869 MPa (b) 758 MPa (c) 620 MPa (d) 430 MPa	54
3.14	Isyarat pancaran akustik yang terhasil semasa penutupan retak aluminium LY12CZ. (a) Isyarat domain masa bagi penutupan retak panjang (b) Isyarat domain frekuensi bagi penutupan retak panjang (c) Isyarat domain masa bagi penutupan retak pendek (d) Isyarat domain frekuensi bagi penutupan retak pendek.	56
3.15	Ramalan hayat perambatan retak melalui korelasi dengan kiraan pancaran akustik	57
4.1	Perbandingan antara analisis univariat dan multivariat	62
4.2	Analisis komponen utama bagi isyarat domain masa pancaran akustik dari perambatan retak dalam keluli gear	

	pendaratan (a) Isyarat domain masa daripada profil pembebanan berbeza (b) Plot komponen utama 1 dan komponen utama 2	64
4.3	Vektor-eigen bagi dua matriks yang berbeza	67
5.1	Spesimen ujian tegangan (a)Dimensi bagi spesimen ujian tegangan berdasarkan piawaian ASTM E8M-08. (b) Gambar spesimen yang siap dipotong.	76
5.2	Kaedah pemerolehan isyarat pancaran akustik semasa ujian tegangan	78
5.3	Profil kepekaan penderia model SE2MEG-P No.231	79

6.3	Isyarat jenis berterusan 1 semasa ubah bentuk elastik keluli API5LX70 (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	101
6.4	Isyarat jenis berterusan 2 semasa ubah bentuk elastik keluli API5LX70 (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	101
6.5	Isyarat jenis cetusan semasa ubah bentuk elastik keluli API5LX70 (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	101
6.6	Amplitud maksimum isyarat pancaran akustik semasa ubah bentuk elastik keluli API5LX70	102
6.7	Kiraan pancaran akustik semasa ubah bentuk elastik keluli API5LX70	103
6.8	Tenaga pancaran akustik semasa ubah bentuk elastik keluli API5LX70	104
6.9	Frekuensi dominan isyarat domain frekuensi pancaran akustik semasa ubah bentuk elastik keluli API5LX70	104
6.10	Respon terikan puncak semasa beban kitaran dikenakan	107
6.11	Gambaran tatacara plot histogram (a) Pencerapan isyarat pancaran akustik pada tegasan dan kitaran tertentu (b) Gambaran umum pembahagian resolusi dan jumlah kumulatif isyarat pancaran akustik pada setiap bahagian.	109
6.12	Aktiviti pancaran akustik semasa mekanisme lesu keluli API 5L X70 yang dikenakan tegasan berkisar pada amplitud 437.5MPa (a) Histogram aktiviti pancaran akustik pada julat tegasan dan julat kitaran tertentu (b) Taburan isyarat pancaran akustik sepanjang mekanisme lesu.	111
6.13	Aktiviti pancaran akustik semasa mekanisme lesu keluli API 5L X70 yang dikenakan tegasan berkisar pada amplitud 406.25MPa. (a) Histogram aktiviti pancaran akustik pada julat tegasan dan julat kitaran tertentu (b) Taburan isyarat pancaran akustik sepanjang mekanisme lesu.	112
6.14	Aktiviti pancaran akustik semasa mekanisme lesu keluli API 5L X70 yang dikenakan tegasan berkisar pada amplitud 390.6MPa.(a) Histogram aktiviti pancaran akustik pada julat tegasan dan julat kitaran tertentu	

	(b) Taburan isyarat pancaran akustik sepanjang mekanisme lesu.	114
6.15	Aktiviti pancaran akustik semasa mekanisme lesu keluli API 5L X70 yang dikenakan tegasan berkisar pada amplitud 359.4MPa. (a) Histogram aktiviti pancaran akustik pada julat tegasan dan julat kitaran tertentu (b) Taburan isyarat pancaran akustik sepanjang mekanisme lesu.	115
6.16	Pembahagian kumpulan isyarat pancaran akustik yang dicerap dari fenomena kelesuan pada tegasan amplitud 359.4MPa	117
6.17	Kaedah isyarat kumpulan PA2bT dan PA2bM disampel	118
6.18	Isyarat pancaran akustik kumpulan PA2aT (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi.	119
6.19	Isyarat pancaran akustik kumpulan PA2aM (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	119
6.20	Isyarat pancaran akustik dari kumpulan PA2bT (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	120
6.21	Isyarat pancaran akustik dari kumpulan PA2bM (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	121
6.22	Isyarat pancaran akustik kumpulan PA3RR (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	121
6.23	Isyarat pancaran akustik kumpulan PA3RT (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	122
6.24	Isyarat pancaran akustik kumpulan PA3RM (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi	122
6.25	Persamaan dan perbezaan struktur isyarat domain masa semasa mekanisme lesu	124
6.26	Persamaan dan perbezaan struktur isyarat domain frekuensi semasa mekanisme lesu	125
6.27	Corak amplitud maksimum bagi setiap kumpulan dari peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu	128
6.28	Corak kiraan pancaran akustik bagi setiap kumpulan dari peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu	129

6.29	Corak tenaga pancaran akustik bagi setiap kumpulan dari peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu	130
6.30	Corak frekuensi dominan bagi setiap kumpulan dari peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu	131
6.31	Corak kurtosis bagi setiap kumpulan dari peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu	133
6.32	Corak punca min kuasa dua bagi setiap kumpulan dari peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu.	134
6.33	Plot komponen utama 1 melawan komponen utama 2 (a) Plot keseluruhan (b) Plot yang menfokuskan kepada kelompok A.	136
6.34	Klasifikasi isyarat domain frekuensi dalam mekanisma lesu berdasarkan komponen utama 1 dan 2.	138
6.35	Kelompok B dalam rajah 6.34	139
6.36	Kelompok A1 dalam Rajah 6.34	139
6.37	Kelompok A2 dalam Rajah 6.34	140
6.38	Aktiviti pancaran akustik pada persimpangan talian paip (a) Amplitud maksimum sesi ujian 1 (b) Tenaga pancaran akustik sesi ujian 1 (c) Amplitud maksimum sesi ujian 2 (d) Tenaga pancaran akustik sesi ujian 2.	141
6.39	Isyarat pancaran akustik yang dicerap pada persimpangan talian paip (a) Isyarat domain masa (b) Isyarat domain frekuensi.	142
7.1	Taburan amplitud maksimum isyarat jenis berterusan dan diskret semasa ubah bentuk elastik keluli API 5L X70	153
7.2	Taburan kiraan isyarat jenis berterusan dan diskret semasa ubah bentuk elastik keluli API 5L X70.	154
7.3	Taburan tenaga isyarat jenis berterusan dan diskret semasa ubah bentuk elastik keluli API 5L X70.	155
7.4	Taburan frekuensi dominan isyarat jenis berterusan dan diskret semasa ubah bentuk elastik keluli API 5L X70.	156
7.5	Hubungan puncak amplitud terikan puncak dengan aktiviti pancaran akustik semasa ujian lesu spesimen 1	159

7.6	Hubungan puncak amplitud terikan puncak dengan aktiviti pancaran akustik semasa ujian lesu spesimen 2	159
7.7	Hubungan puncak amplitud terikan puncak dengan aktiviti pancaran akustik semasa ujian lesu spesimen 3	160
7.8	Hubungan puncak amplitud terikan puncak dengan aktiviti pancaran akustik semasa ujian lesu spesimen 4	160
7.9	Isyarat domain frekuensi kumpulan PA3RR	172
7.10	Isyarat terpencil dalam kumpulan PA2bM	174
7.11	Perbandingan nilai amplitud maksimum bagi isyarat domain masa dari ujian lapangan dan ujian lesu	177
7.12	Perbandingan nilai kiraan bagi isyarat domain masa dari ujian lapangan dan ujian lesu	178
7.13	Perbandingan nilai tenaga bagi isyarat domain masa dari ujian lapangan dan ujian lesu	179
7.14	Perbandingan nilai frekuensi dominan bagi isyarat domain frekuensi dari ujian lapangan dan ujian lesu	179
7.15	Perbandingan Kurtosis bagi Isyarat Domain Masa Dari Ujian Lapangan dan Ujian Lesu	181
7.16	Perbandingan punca min kuasa dua bagi isyarat domain masa dari ujian lapangan dan ujian lesu	181
7.17	Plot komponen utama 1 dan 2 bagi isyarat domain frekuensi dari mekanisme lesu dan isyarat domain frekuensi dari ujian lapangan.	183
7.18	Klasifikasi isyarat domain frekuensi dari mekanisme lesu dan ujian lapangan berdasarkan nilai komponen utama 1 dan 2.	183
7.19	Kelompok A dalam Rajah 7.18	184
7.20	Kelompok B dalam Rajah 7.18	185
7.21	Kelompok C dalam Rajah 7.18	185

SENARAI SIMBOL

LIF	faktor impak kebocoran
PH	potensi bahaya
LV	isipadu kebocoran
D	serakan kebocoran
R	ciri-ciri penerima kesan dan akibat kebocoran
σ	tegasan
ϵ	terikan
E	modulus keanjalan
S_a	amplitud tegasan
R	nisbah bebanan berkitar
σ_{mak}	tegasan maksimum
σ_{min}	tegasan minimum
$\Delta\epsilon_{\text{total}}$	amplitud terikan jumlah
N_f	hayat lesu
ϵ'_f	pekali kemuluran lesu
σ'_f	pekali kekuatan lesu.
b	eksponen kekuatan lesu
c	eksponen kemuluran lesu
$R(\Omega)$	rintangan elektrik
$E(J)$	tenaga pancaran akustik dalam unit Joule
eu	unit elektrik
x_{aj}	data ke-j bagi isyarat a
x_{bj}	data ke-j bagi isyarat b

x_j	data ke-j
\bar{x}	purata bagi satu set sampel
$[X]$	matrik X
$[Cx]$	matrik kovarian bagi matrik X
$[X]^T$	matriks alih bagi matrik X
\vec{v}	vektor eigen
γ	nilai eigen
x_j	data x pada dimensi-j
y_j	data y pada dimensi-j
r	pekali jarak minkowski
d	dimensi
C_i	data dalam Kelompok i
C_j	data dalam Kelompok j
C	kovarian bagi data yang ingin dikelaskan.
r	dimensi kelompok i
s	dimensi kelompok j
n_i	bilangan sampel dalam kelompok i
n_j	bilangan sampel dalam kelompok j
μ	purata

BAB I

PENDAHULUAN

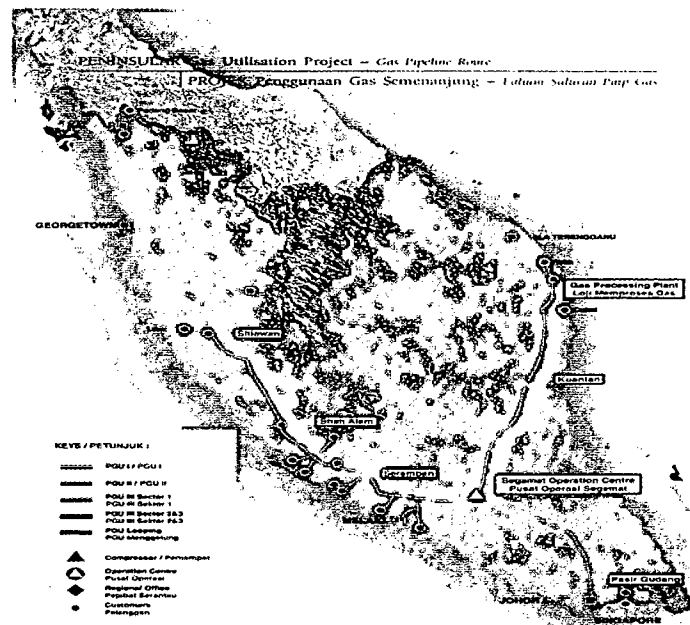
1.1 PENGENALAN

Pembangunan teknologi serta pertumbuhan ekonomi dunia yang pesat telah membawa kepada permintaan yang tinggi terhadap sumber tenaga. Sehingga hari ini, majoriti sumber tenaga yang digunapakai adalah daripada minyak dan gas. Pertambahan permintaan ini telah menyebabkan semakin banyak sistem talian paip gas dipasang di seluruh dunia. Ini bagi memudahkan gas dihantar secara terus kepada pengguna. Merujuk kepada sumber daripada Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (DOSH), sejumlah 1658 km talian paip gas telah dipasang di semenanjung Malaysia seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1. Ianya merentasi kawasan yang berbeza seperti sungai, jalanraya, jalan keretapi, dan kawasan berpenduduk.

Apabila talian paip gas beroperasi merentasi seluruh negara terutamanya kawasan berpenduduk, penduduk sekitar akan terdedah kepada bahaya dan risiko kegagalan talian paip tersebut (Muhlbauer 2004). Kegagalan talian paip yang berlaku boleh mendatangkan kemusnahan harta benda dan juga nyawa (Ennaceur et al. 2006). Oleh yang demikian, risiko kegagalan talian paip yang sedang beroperasi perlu dikurangkan. Hal ini bagi mengelakkan kegagalan yang memberikan impak yang besar kepada masyarakat sekeliling.

Pada kebiasaannya, langkah untuk mengurangkan risiko diambil sejak daripada proses merekabentuk lagi. Talian paip direkabentuk dengan mengambilkira faktor-faktor seperti geometri, bahan, beban semasa operasi, dan bendalir bekerja. Kesemua faktor ini diambilkira dengan merujuk kepada kod-kod piawaian tertentu. Ini

bagi memastikan talian paip dapat menahan beban yang akan ditanggung semasa operasi, dan sekaligus dapat mengurangkan risiko kegagalan.



Rajah 1.1 Perjalanan talian paip gas di Semenanjung Malaysia

Sumber: Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan 2009

Walaupun langkah-langkah pencegahan telah diambil semasa proses merekabentuk talian paip gas, masih terdapat beberapa faktor kegagalan yang tidak dapat dielakkan semasa operasi. Antaranya adalah faktor keadaan semulajadi sekeliling, sifat bahan, dan juga kecacatan yang tidak dapat dikesan sewaktu pemasangan dan fabrikasi. Oleh itu, kerja-kerja pemeriksaan dan pemantauan perlu dilakukan semasa operasi bagi menjamin keutuhan sistem talian paip.

Bagi tujuan memantau keutuhan struktur talian paip secara terancang, menjimatkan masa, dan juga kos, program pemeriksaan berdasarkan risiko (RBI) merupakan program yang lazimnya digunakan di industri. Merujuk kepada piawaian API 580 (American Petroleum Institute 2002), program RBI ini memberikan garis panduan bagi mengenalpasti bahagian yang kritikal dan berisiko tinggi di dalam sistem talian paip. Selain itu, panduan mengenai perancangan terhadap kerja-kerja pemantauan pada bahagian kritikal tersebut turut diberikan. Melalui garis panduan

tersebut juga, teknik ujian tanpa musnah telah dicadangkan sesuai bagi kerja-kerja pemantauan.

1.2 PENYATAAN MASALAH

Umumnya, risiko, impak dan akibat daripada kegagalan talian paip gas yang beroperasi berhampiran dengan kawasan berpenduduk dijangkakan sangat besar. Ini kerana kegagalan talian paip gas berupaya menyebabkan kemusnahan yang dahsyat serta meragut nyawa. Lazimnya, kegagalan talian paip akan bermula daripada empat mekanisme yang utama. Mekanisme tersebut adalah mekanisme retak, kecacatan atau kerosakan bahan, bencana alam, dan kegagalan operasi atau peranti (Kishawy & Gabbar 2010). Merujuk kepada piawaian API 570 (American Petroleum Institute, 1998), mekanisme retak adalah antara mekanisme kegagalan yang perlu diberikan perhatian. Antara contoh bagi mekanisme retak adalah keretakan persekitaran, hakisan, rayapan, dan kegagalan lesu.

Kegagalan lesu merupakan punca utama kegagalan bagi kebanyakan komponen atau struktur kejuruteraan. Di dalam sistem talian paip gas, kegagalan lesu boleh berlaku disebabkan beban kitaran besar yang berpunca daripada getaran pemampat dan juga denyutan yang terhasil daripada tekanan gas ketika operasi (Otegui et al. 2009). Walaupun rekod statistik tidak menunjukkan bahawa kegagalan lesu adalah merupakan punca utama kegagalan talian paip gas, namun ianya tidak boleh diambil mudah kerana kegagalan lesu boleh berlaku dengan cukup pantas tanpa sebarang tanda atau amaran (Muhlbauer 2004). Selain itu, kegagalan lesu juga mampu mengakibatkan berlakunya kebocoran atau letupan sebagaimana yang pernah dilaporkan oleh Chapetti et al. (2002) dan Otegui et al. (2009). Hal ini menunjukkan bahawa kegagalan lesu ke atas talian paip gas merupakan kegagalan yang dapat memberikan risiko dan impak yang tinggi kepada masyarakat sekeliling.

Impak dan akibat yang besar telah mendorong kepada pertambahan kajian-kajian terhadap fenomena kegagalan lesu ke atas sistem talian paip gas. Antaranya adalah kajian mengenai kesan kekuatan keluli talian paip terhadap fenomena lesu kitaran rendah (Zhong et al. 2005), kesan lekukan ke atas fenomena lesu di dalam

talian paip (Pinheiro & Pasqualino 2009), dan juga kesan pra-ubah bentuk terhadap hayat permulaan retak bagi keluli talian paip (Zheng. et al. 2005). Kajian-kajian ini amat berguna untuk dijadikan panduan bagi tujuan pemilihan bahan dan juga rekabentuk talian paip sebelum proses fabrikasi. Ini penting sebagai langkah pencegahan daripada berlakunya kegagalan lesu.

Walaupun langkah pencegahan telah diambil sejak dari proses merekabentuk dan pemilihan bahan, langkah pencegahan kegagalan semasa operasi juga amat penting. Ini dapat dilaksanakan melalui kerja-kerja pemeriksaan, pemantauan, dan juga penyelenggaraan. Justeru itu, mengesan fenomena kegagalan lesu dari peringkat awal ketika kerja pemeriksaan dan pemantauan amat penting sebagai langkah awal untuk mengelakkan kegagalan yang dahsyat. Bagi tujuan pemantauan keutuhan talian paip gas, ujian tanpa musnah merupakan antara ujian yang dijangkakan sesuai. Ini kerana terdapat beberapa teknik ujian tanpa musnah yang boleh dijalankan tanpa memberhentikan operasi dan sekaligus dapat menjimatkan kos.

Secara konvensional, ujian tanpa musnah seperti pemeriksaan visual dan pemeriksaan tekanan yang diaplikasikan semasa operasi lazimnya dapat mengesan kebocoran yang berlaku di dalam talian paip (Vallen 2006). Walaubagaimanapun, mengesan kebocoran yang sudah berlaku boleh dianggap kurang memberi makna. Ini kerana apabila kebocoran dikesan, talian paip yang diperiksa telah pun mengalami kegagalan. Oleh yang demikian, mengesan fenomena awal sebelum berlakunya retak lesu di dalam struktur adalah penting sebagai amaran awal untuk tindakan pencegahan selanjutnya. Ia bagi mengelakkan kebocoran berlaku dan seterusnya membawa kepada kegagalan.

Di antara teknik-teknik ujian yang dikategorikan sebagai ujian tanpa musnah, teknologi pancaran akustik merupakan teknik yang berupaya untuk memantau keutuhan sistem talian paip. Ini kerana teknik ini ditemui sensitif dalam mengesan perubahan yang berlaku di dalam bahan sebelum retak berlaku sehingga retak terbentuk dan merambat (Berkovits & Fang 1995b). Ianya juga berupaya mengesan lokasi retak yang wujud (Biancolini et al. 2006). Justeru itu, pemahaman yang mendalam mengenai pancaran akustik yang terjana daripada fenomena lesu di dalam

bahan adalah amat penting. Pemahaman ini dijangka dapat diperoleh melalui kajian korelasi.

Sehingga kini, didapati bahawa kajian yang melibatkan korelasi antara fenomena lesu dan isyarat pancaran akustik bagi keluli API 5L jenis X70 kurang diberikan perhatian. Kajian terhadap keluli jenis ini adalah penting kerana kebanyakan talian paip gas utama yang beroperasi di Malaysia adalah daripada keluli jenis API 5L X70. Maka, kajian korelasi isyarat pancaran akustik dengan fenomena lesu bagi keluli API 5L X70 adalah diperlukan.

Bagi mengaplikasikan teknologi pancaran akustik untuk tujuan pemantauan, analisis dan pengelasan isyarat pancaran akustik perlu dilakukan terlebih dahulu. Berdasarkan kajian-kajian yang terdahulu, pelbagai teknik analisis telah dikemukakan bertujuan untuk memantau keutuhan sesuatu struktur atau komponen. Antaranya adalah analisis yang mengaplikasikan model purata-k dan Jiran Terdekat-k (Godin et al. 2004), Pengoptima Koloni Semut (Omkar & Karanth 2008), Statistik K-S (Hall & Mba 2004), pengubahsuaian anak gelombang, (Ahadi & Bakhtiar 2010) dan juga analisis komponen utama (Johnson 2002). Kesemua teknik yang diaplikasikan ini ditemui telah menunjukkan potensi yang baik dalam memantau keutuhan sesuatu struktur atau komponen. Walaubagaimanapun, pembangunan algoritma berdasarkan model-model atau teknik-teknik analisis ini jarang sekali ditemui. Pembangunan algoritma yang sesuai boleh dianggap penting bagi membantu menganalisis dan mengelaskan isyarat yang dicerap. Ini bagi membantu proses penilaian keutuhan sesuatu struktur atau komponen. Justeru, pembangunan algoritma yang sesuai adalah diperlukan.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

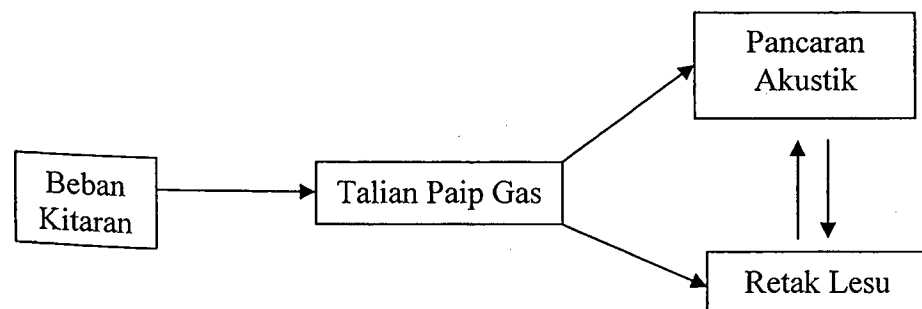
Umumnya, kajian korelasi antara isyarat pancaran akustik yang terhasil dengan fenomena kegagalan lesu amat diperlukan bagi memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai kedua-dua perkara tersebut. Pemahaman mengenai kedua-dua perkara tersebut amat penting bagi tujuan pemantauan fenomena lesu di dalam talian paip gas. Pemahaman ini dapat diperoleh melalui analisis terhadap isyarat pancaran

akustik yang dicerap. Selain itu, pengelasan isyarat yang dianalisis juga turut dijangka dapat membantu dalam penilaian keutuhan sesuatu struktur. Justeru, terdapat tiga objektif utama yang disasarkan dalam kajian ini. Antaranya adalah : -

1. Objektif utama dalam kajian ini adalah untuk mendapatkan korelasi antara isyarat pancaran akustik yang dicerap dengan fenomena yang berlaku ke atas keluli API 5L X70 semasa peringkat-peringkat tertentu dalam mekanisme retak lesu.
2. Membangunkan algoritma yang sesuai berdasarkan model matematik yang sedia ada bagi menganalisis ciri-ciri isyarat pancaran akustik yang terhasil daripada peringkat yang berbeza dalam mekanisme lesu keluli API 5L X70.
3. Mengkelaskan isyarat-isyarat yang terhasil daripada peringkat yang berbeza dalam mekanisme retak lesu dan talian paip gas yang sedang beroperasi di lapangan.

1.4 HIPOTESIS KAJIAN

Bagi memastikan objektif yang disasarkan adalah realistik dan dapat dicapai pada akhir kajian, beberapa hipotesis telah dibuat. Umumnya seperti yang diketahui, beban kitaran yang dikenakan semasa operasi akan menyebabkan berlakunya perubahan di dalam bahan. Perubahan ini akan menjana dan membebaskan isyarat pancaran akustik dan ianya akan terus berlaku sehingga retak lesu terbentuk dan merambat. Oleh itu, pembolehubah tidak bersandar dalam kes ini adalah beban kitaran yang dikenakan ke atas talian paip. Manakala, pembolehubah bersandar adalah retak lesu dan pancaran akustik yang terjana seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.2.



Rajah 1.2 Hubungan antara pembolehubah