KAWALAN INVENTORI ALAT GANTI MENGGUNAKAN TEOREM BAYESIAN: KAJIAN KES

NOR ERNE NAZIRA BAZIN, NOR AZIZAH ALI, NURULHUDA FIRDAUS MOHD AZMI

Fakulti Sains Komputer dan Sistem Maklumat, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Skudai, Skudai, Johor 81300, Malaysia
nazira@fsksm.utm.my

Fakulti Sains Komputer dan Sistem Maklumat, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Skudai, Skudai, Johor 81300, Malaysia
nazh@fsksm.utm.my

Centre for Advanced Software Engineering (CASE), UTM City Campus, Jalan Semarak, Kuala Lumpur 54100, Malaysia
huda@fsksm.utm.my

Abstrak: Kajian ini mengaplikasikan teorem Bayesian dalam meramalkan permintaan bagi sistem kawalan inventori alat ganti mesin di kilang pemprosesan bahan kimia. Polisi pesanan ditentukan menggunakan model Kuantiti Pesanan Ekonomi (KPE). Permintaan item dalam model KPE berdasarkan kepada pesanan atau jumlah pengeluaran item dari stok. Dalam kes ini, permintaan adalah kadar kegagalan. Masalah dan polisi semasa digambarkan dengan jelas. Seterusnya, elemen asas teorem Bayesian diperkenalkan. Hasil pengiraan menggunakan teorem Bayesian digabungkan dengan model KPE untuk menentukan polisi pesanan. Kaedah yang dicadangkan memberikan aras stok yang lebih rendah dan mencukupi untuk memenuhi permintaan berbanding polisi semasa. Kos kawalan inventori juga dapat diminimumkan.

Kata kunci: Alat ganti, Teorem Bayesian, permintaan, polisi pesanan, model KPE

1. Pengenalan

Inventori alat ganti merupakan salah satu daripada inventori yang diperlukan dalam pengurusan operasi sesebuah kilang. Kegagalan walaupun hanya satu komponen alat ganti akan menyebabkan sistem tidak dapat berfungsi (Wong *et al.* 2005). Pengurusan inventori alat ganti yang baik penting untuk mengurangkan tempoh kilang tidak dapat beroperasi dan mempastikan operasi pengeluaran berjalan lancar seterusnya mengelakkan kerugian daripada berlaku (Rustenburg *et al.* 2000). Jumlah inventori alat ganti yang banyak meningkatkan kos pegangan sebaliknya jumlah yang sedikit menyebabkan keperluan tidak dapat dipenuhi atau pesanan kecemasan yang melibatkan kos yang sangat tinggi (Aronis *et al.* 2003). Organisasi yang terlibat dalam kajian ini adalah kilang pemproses bahan kimia yang mempunyai tiga pelan operasi iaitu A, B dan C. Setiap pelan melakukan operasi yang berbeza menggunakan mesin-mesin yang berteknologi tinggi. Komponen yang terdapat pada mesin-mesin tersebut diperolehi daripada pembekal dari dalam dan luar negara. Pihak organisasi telah menetapkan polisi untuk tidak menyimpan stok kecemasan/keselamatan kerana terdapat komponen yang berharga puluhan ribu ringgit dan memerlukan kos penyelenggaraan yang tinggi.

Beberapa model inventori tertentu dianalisa dalam bahagian 4.4 untuk menentukan kaedah yang sesuai bagi mendapatkan polisi pesanan yang menepati polisi syarikat. Dalam bahagian 2.1, kadar kegagalan item yang dipilih dalam kajian ini diramal menggunakan aplikasi teorem Bayesian. Hasil pengiraan dan perbandingan aras stok ditunjukkan dalam bahagian 5 dan kesimpulan bagi kajian dalam bahagian 6.

2. Objektif Kajian

Objektif bagi kajian yang dijalankan adalah:

(1) Mendapatkan polisi pesanan yang optimum bagi inventori alat ganti.
(2) Mendapatkan kadar kegagalan menggunakan aplikasi teorem bayesian
(3) Menggabungkan kaedah KPE dan aplikasi teorem Bayesian bagi memenuhi polisi organisasi

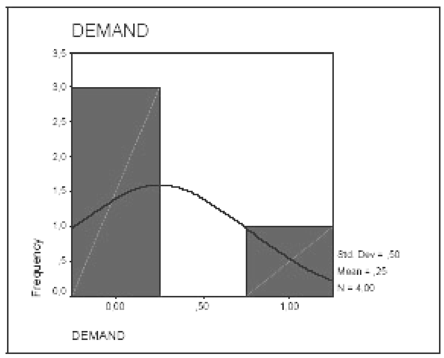
3. Pengujian Taburan Data

(4) Pengujian taburan data kadar kegagalan alat ganti dilakukan untuk menentukan jenis taburan data bagi menentukan model inventori yang bersesuaian. Jadual 1 menunjukkan kadar kegagalan alat ganti terpilih bagi tempoh 4 tahun. Rajah 1(a) dan (b) menunjukkan contoh keputusan pengujian taburan menggunakan perisian SPSS.

Jadual 1. Kegagalan item alat ganti dalam tempoh 4 tahun

Item	Kegalan alat ganti mengikut tahun			
	2000	2001	2002	2003
KT1	0	0	0	1
KT2	0	1	0	0
KT3	1	0	1	0
KT4	1	1	1	1
KT5	1	0	0	0
KT6	0	1	0	0
KT7	0	0	0	1

(5)
(6)
(7)



Raj. 1(a). Pengujian taburan bagi item KT1.

(8)
(9)
(10)
(11)
(12)
(13)
(14)
(15)
(16)
(17)
(18)
(19)
(20)
(21)
(22)
(23)

4. Teorem Bayesian

Teorem Bayesian merupakan satu teknik analisa yang mengambilkira hipotesis awalan dan peristiwa sebenar yang berlaku. Analisa ini sangat bermanfaat untuk membandingkan dua hipotesis. Keputusan analisa adalah kebarangkalian bagi setiap kemungkinan keputusan eksperimen atau pengujian. Kebarangkalian yang diperolehi menggunakan aplikasi teorem Bayesian merangkumi maklumat yang diketahui sebelum melakukan pengujian. Seterusnya, kebarangkalian bagi setiap hipotesis adalah benar dalam pemerhatian sebenar dikira. Teorem Bayesian adalah seperti berikut:

$$p(H|UI) * p(U|HI) / p(U|I). \quad (1)$$

di mana $p(H|I)$ adalah kebarangkalian awal hipotesis, *H*, benar dengan diberikan maklumat awalan, *I*; $p(U|I)$ adalah kebarangkalian berlaku peristiwa sebenar dalam pemerhatian *U*. $p(U|HI)$ adalah kebarangkalian hipotesis, *H*, benar dalam pemerhatian U dengan diberikan *H* dan *I*. $p(H|UI)$ adalah kebarangkalian sebenar bagi hipotesis, *H*, benar dengan diberikan pemerhatian, *U*, dan maklumat awalan *I*.

Teorem Bayesian boleh diaplikasikan dalam peramalan permintaan atau kadar kegagalan bagi sesuatu item alat ganti. Aronis *et al.* (2003) menggunakan kaedah Bayesian untuk meramal permintaan terhadap alat ganti kelengkapan elektrik. Teorem Bayesian (1) disesuaikan dengan kadar kegagalan alat ganti seperti berikut:

$$\text{Kebarangkalian hipotesis kegagalan berlaku benar, } P = ?_0 * ? / ?_1 \text{ .} \quad (2)$$

$?_0$ – Kadar kegagalan dijangka (hipotesis)

$?_1$ – Kadar kegagalan sebenar

$? = ?_1 / ?_0$ – Nisbah kadar kegagalan

3.1 *Pengiraan menggunakan aplikasi Teorem Bayesian*

Dalam bahagian ini, beberapa contoh pengiraan kadar kegagalan bagi item alat ganti ditunjukkan.

Pengiraan bagi item KT1

- Diberi nilai andaian kegagalan adalah 1 kegagalan dalam tempoh 30 bulan.

  $?_0 = 1 \text{ kegagalan} / 30 \text{ bulan} = 0.0333 \text{ sebulan}$

- Diberi nilai kegagalan sebenar adalah 1 kegagalan dalam tempoh 48 bulan.

  $?_1 = 1 \text{ kegagalan} / 48 \text{ bulan} = 0.0208 \text{ sebulan}$

- Nisbah kadar kegagalan adalah

  $? = ?_1 / ?_0 = 0.0208 / 0.0333 = 0.6246$

- Kebarangkalian hipotesis kegagalan berlaku adalah benar diberikan oleh
  $P = ?_0 * ? / ?_1 = 0.0333 * 0.6246 / 0.0208 = 0.9999 \approx 1$

  Boleh disimpulkan bahawa hipotesis 1 kegagalan berlaku dalam tempoh 30 bulan adalah benar.
- Seterusnya, kadar kegagalan dikira berdasarkan aras penerimaan 99, 95 dan 90 peratus.

  $\text{Kadar kegagalan } (99\%) = 0.0208 * 0.99 = 0.0206 \text{ sebulan}$
  $\text{Kadar kegagalan } (95\%) = 0.0208 * 0.95 = 0.0198 \text{ sebulan}$
  $\text{Kadar kegagalan } (90\%) = 0.0208 * 0.90 = 0.0187 \text{ sebulan}$

  Pihak organisasi boleh menentukan aras penerimaan yang bersesuaian berdasarkan Perbandingan antara kadar kegagalan yang dijangka dan kadar kegagalan sebenar.

- Bagi menentukan kebenaran kadar kegagalan yang diperolehi berdasarkan aras penerimaan 99, 95 dan 90 peratus, pengujian hipotesis dilakukan
- Pengujian bagi andaian kegagalan pada aras penerimaan 99%

$$?_0 = 0.0206 \text{ sebulan}$$
$$?_1 = 1 \text{ kegagalan}/48 \text{ bulan} = 0.0208 \text{ sebulan}$$
$$? = ?_1/?_0 = 0.0208 / 0.0206 = 1.0100$$
$$P = ?_0 * ?/?_1 = 0.0206 * 1.0100 / 0.0208 = 1.0003 \approx 1 .$$

- Pengujian bagi andaian kegagalan pada aras penerimaan 95%

$$?_0 = 0.0198 \text{ sebulan}$$
$$?_1 = 1 \text{ kegagalan}/48 \text{ bulan} = 0.0208 \text{ sebulan}$$
$$? = ?_1/?_0 = 0.0208 / 0.0198 = 1.0505$$
$$P = ?_0 * ?/?_1 = 0.0198 * 1.0505 / 0.0208 = 0.9999 \approx 1$$

- Pengujian bagi andaian kegagalan pada aras penerimaan 90%

$$?_0 = 0.0187 \text{ sebulan}$$
$$?_1 = 1 \text{ kegagalan}/48 \text{ bulan} = 0.0208 \text{ sebulan}$$
$$? = ?_1/?_0 = 0.0208 / 0.0187 = 1.1123$$
$$P = ?_0 * ?/?_1 = 0.0187 * 1.1123 / 0.0208 = 1.0000$$

- Terbukti bahawa kesemua andaian kegagalan berdasarkan aras penerimaan 99, 95 dan 90 peratus adalah benar.

5. Model KPE

Analisis klasik atau lebih dikenali sebagai Kuantiti Pesanan Ekonomi (KPE) merupakan asas kepada model sistem inventori. Analisa ini digunakan untuk mengira jumlah pesanan yang dapat mengurangkan jumlah kos. Hasil pengiraan daripada analisis ini memberikan keputusan berkaitan polisi pesanan item.

4.1 *Andaian bagi analisis*

Dalam menghasilkan model ini, beberapa andaian perlu dibuat sebelum menentukan aras stok. Tujuan andaian ini dilakukan adalah untuk memudahkan model dikaji seterusnya menghasilkan corak aras stok untuk dianalisa. Andaian-andaian tersebut adalah seperti berikut:

(24) Hanya satu item sahaja dipertimbangkan.
(25) Semua kos diketahui, tepat dan tidak berubah.
(26) Kekurangan stok tidak berlaku iaitu bekalan item tidak putus.
(27) Masa lopor adalah sifar iaitu produk diterima sebaik sahaja pesanan dibuat.
(28) Permintaan diketahui dengan tepat.
(29) Permintaan diandaikan tetap sepanjang masa.
(30) Perubahan kuantiti pesanan tidak mempengaruhi kos seunit dan kos pesanan semula.
(31) Bagi setiap pesanan hanya terdapat satu penghantaran sahaja.
(32) Item yang dipesan tiba dengan segera. Semua pesanan dimasukkan ke dalam stok pada masa yang sama dan boleh digunakan serta-merta.

4.2 *Andaian dalam penyelesaian masalah*

Beberapa andaian telah dibuat untuk menyesuaikan masalah ini dengan penyelesaian menggunakan model KPE dan pendekatan Bayesian. Andaian yang dibuat adalah:

(33) Permintaan diketahui dengan tepat.
(34) Permintaan atau kadar kegagalan item alat ganti adalah bertaburan Poisson.
(35) Kekurangan stok tidak dibenarkan.

(36) Kos diketahui tetap dan tidak berubah.
(37) Masa lopor adalah tetap.
(38) Organisasi menetapkan polisi untuk tidak menyimpan stok keselamatan.

4.3 *Pengiraan menggunakan model KPE*

Pengiraan kuantiti pesanan ekonomi memerlukan pembolehubah yang perlu ditentukan nilainya terlebih dahulu.

- Kuantiti pesanan ekonomi (Q)
  Bilangan pesanan stok yang tetap bertujuan untuk mendapatkan satu nilai optimum bagi kuantiti pesanan
- Panjang kitar (T)
  Sela masa antara dua penambahan semula stok
- Permintaan (D)
  Jumlan unit yang perlu dibekalkan dari stok dalam sesuatu tempoh masa
- Kos seunit (UC)
  Harga yang dikenakan oleh pembekal bagi satu unit item
- Kos pegangan (HC)
  Kos untuk memegang satu unit item dalam stok bagi sesuatu tempoh masa.
- Kos pesanan semula (RC)
  Kos bagi pesanan semula sesuatu item dan mungkin melibatkan kos sampingan seperti kos telefon, penghantaran dan penggunaan kelengkapan.

Pengiraan KPE bagi item KT1 berdasarkan kadar kegagalan sebenar

- Maklumat yang diperolehi:
  $D = 0.0208$ unit sebulan
  $UC =$ RM 26500 per unit
  $RC =$ RM 5300 satu pesanan (20% daripada harga seunit)
  $HC =$ RM 6625 seunit setahun (25% daripada harga seunit)
  $LT = 2$ minggu ≈ 0.46 bulan

- Rumus KPE adalah:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * RC * D}{HC}} \ . \tag{3}$$

Kuantiti pesanan optimum:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * RC * D}{HC}} = \sqrt{\frac{2 * 5300 * 0.0208 * 12}{6625}}$$

$$Q = 0.6274 \approx 1 \text{ unit}$$

- Rumus tempoh kitaran, T_0 adalah:

$$T_0 = Q_0 / D \ . \tag{4}$$

Tempoh kitaran:

$$T_0 = 0.6274/0.0208 = 30.2 \approx 30 \text{ bulan}$$

- Rumus aras pesanan semula, ROL adalah:

$$ROL = LT * D \ . \tag{5}$$

Aras pesanan semula adalah:

$$ROL_0 = 0.46 * 0.0208$$

$$ROL = 0.0096 \approx 0 \text{ unit}$$

Polisi pesanan optimum adalah memesan sebanyak 1 unit item dalam tempoh 30 bulan apabila aras stok jatuh kepada 0.

Pengiraan KPE bagi item KT1 pada aras penerimaan 99 peratus

- Kuantiti pesanan optimum:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * RC * D}{HC}} = \sqrt{\frac{2 * 5300 * 0.0206 * 12}{6625}}$$

$$Q = 0.6289 \approx 1 \text{ unit}$$

- Tempoh kitaran:

$$T_0 = 0.6289/0.0208 = 30.24 \approx 30 \text{ bulan}$$

- Aras pesanan semula adalah:

$$ROL_0 = 0.46 * 0.0206$$

$$ROL = 0.0095 \approx 0 \text{ unit}$$

Polisi pesanan optimum adalah memesan sebanyak 1 unit item dalam tempoh 30 bulan apabila aras stok jatuh kepada 0.

Pengiraan KPE bagi item KT1 pada aras penerimaan 95 peratus

- Kuantiti pesanan optimum:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * RC * D}{HC}} = \sqrt{\frac{2 * 5300 * 0.0198 * 12}{6625}}$$

$$Q = 0.6166 \approx 1 \text{ unit}$$

- Tempoh kitaran:

$$T_0 = 0.6166/0.0208 = 29.64 \approx 30 \text{ bulan}$$

- Aras pesanan semula adalah:

$$ROL_0 = 0.46 * 0.0198$$

$$ROL = 0.0091 \approx 0 \text{ unit}$$

Polisi pesanan optimum adalah memesan sebanyak 1 unit item dalam tempoh 30 bulan apabila aras stok jatuh kepada 0.

Pengiraan KPE bagi item KT1 pada aras penerimaan 90 peratus

- Kuantiti pesanan optimum:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * RC * D}{HC}} = \sqrt{\frac{2 * 5300 * 0.0187 * 12}{6625}}$$

$$Q = 0.5992 \approx 1 \text{ unit}$$

- Tempoh kitaran:

$$T_0 = 0.5992/0.0208 = 28.81 \approx 29 \text{ bulan}$$

- Aras pesanan semula adalah:

$$ROL_0 = 0.46 * 0.0187$$

$$ROL = 0.0086 \approx 0 \text{ unit}$$

Polisi pesanan optimum adalah memesan sebanyak 1 unit item dalam tempoh 29 bulan apabila aras stok jatuh kepada 0.

4.4 *Perbandingan antara model KPE dan Sistem Sorotan Berkala (SSB)*

Kebanyakan andaian model KPE seperti masa lopor sifar adalah kurang realistik. Walau bagaimanapun, andaian-andaian ini boleh disesuaikan dengan kes-kes inventori yang dikaji. Menurut Waters (2003), pengiraan dalam model KPE adalah paling mudah jika dibandingkan dengan model-model inventori yang lain. Model KPE mengaitkan permintaan terhadap item, kuantiti pesanan dan kos-kos yang berkaitan. Model SSB mempunyai sedikit kelainan dari segi pengiraan dan penggunaan stok. SSB menentukan aras stok sasaran dan stok keselamatan. Kedua-dua jenis stok ini tidak digunakan dalam kajian yang dijalankan. Selain itu, andaian yang digunakan dalam model SSB tidak bersesuaian dengan keperluan organisasi. Seperti yang dinyatakan sebelum ini, polisi organisasi adalah tidak menyimpan stok keselamatan kerana melibatkan kos yang tinggi. Di samping itu, andaian dalam model SSB yang menyatakan bahawa permintaan adalah bertaburan Normal tidak menggambarkan taburan permintaan sebenar terhadap alat ganti. Permintaan terhadap item alat ganti adalah bertaburan Poisson. Oleh yang demikian, dapatdisimpulkan bahawa model SSB tidak sesuai digunakan untuk mengendalikan inventori alat ganti di kilang tersebut.

6. Perbandingan antara Kaedah Cadangan dan Polisi Semasa

Hasil pengiraan yang diperoleh dengan menggabungkan kaedah KPE dan aplikasi Teorem Bayesian menunjukkan aras stok yang lebih rendah daripada polisi semasa tetapi memenuhi keperluan terhadap item alat ganti tersebut. Hasil perbandingan ditunjukkan oleh Jadual 2

Jadual 2. Perbandingan antara kaedah cadangan dan polisi semasa.

Item	Pesanan (Kaedah Cadangan)				Pesanan (Polisi semasa)
	Sebenar	99%	95%	90%	
KT1	1/30 bulan	1/30 bulan	1/30 bulan	1/29 bulan	1/24bulan
KT2	1/30 bulan	1/31 bulan	1/31 bulan	1/32 bulan	1/24 bulan

4.3.1 Permintaan diandaikan Bertaburan Poisson

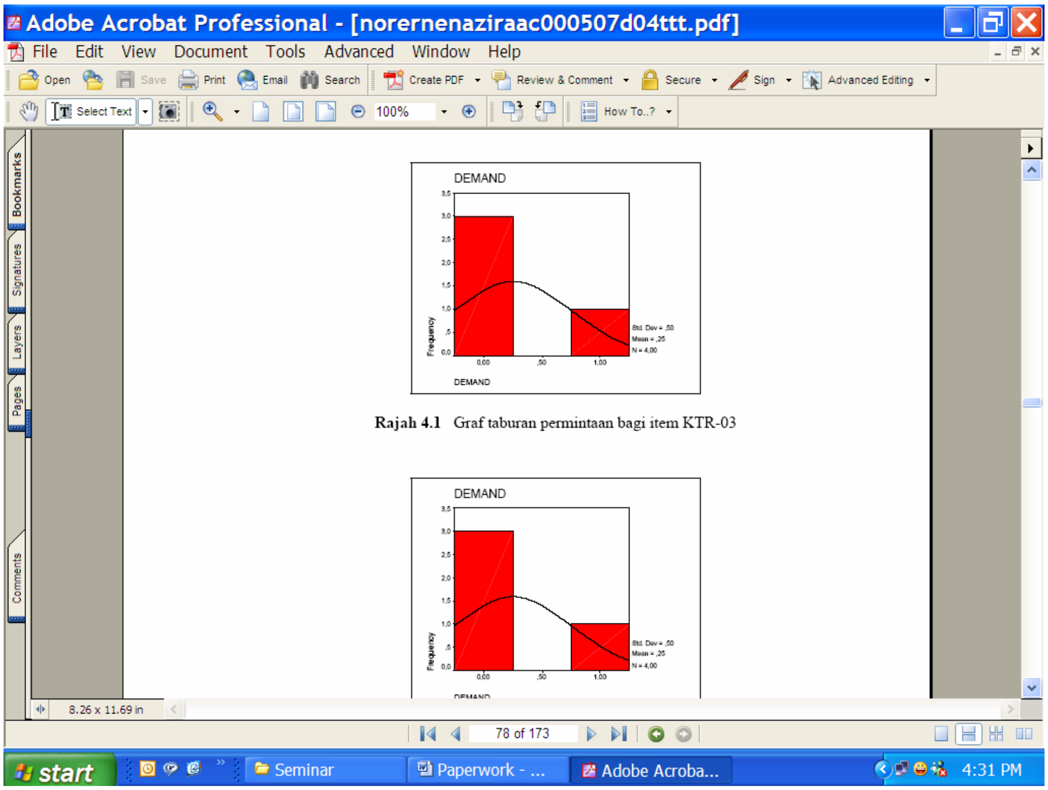
Permintaan dalam model ini adalah purata kadar kegagalan yang bertaburan Poisson. Penyataan hipotesis bagi taburan permintaan adalah seperti berikut:

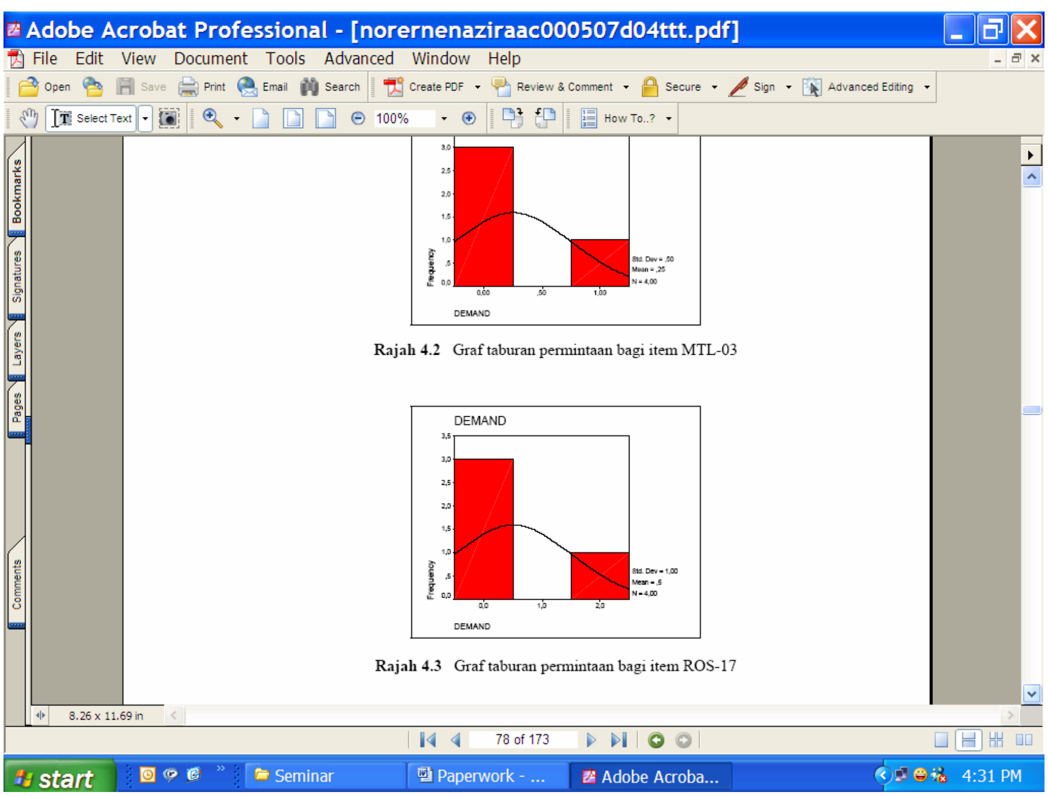
Poisson bertaburan : 0 μ *H* (4.1)

Poisson bertaburan tidak : 1 μ *H* (4.2)

Untuk menentukan sama ada perlu menerima atau menolak, satu pengujian ringkas dijalankan terhadap item KTR-03, MTL-03 dan ROS-17 menggunakan pakej statistik SPSS Version 10.0 for Windows. Graf bagi permintaan item yang bertaburan Poisson adalah seperti Rajah 4.1, 4.2 dan 4.3. Hasil pengujian yang dijalankan adalah seperti yang ditunjukkan dalam **LAMPIRAN G**.

0 *H*





function for certain types of non-monotonic ageing. *Comm. Stat. Stoch. Models*, **11**, 3, pp. 219–225.

Gupta, R. C. and Akman, O (1995b). On the reliability studies of a weighted inverse Gaussian model. *J. Stat. Planning Inference*, **48**: 69–83.

Gupta, R. C., Kannan, N. and Raychaudhari, A. (1997). Analysis of log normal survival data. *Math. Biosci.*, **139**: 103–115.

Gurland, J. and Sethuraman, J. (1994). Reversal of increasing failure rates when pooling failure data. *Technometrics*, **36**: 416–418.

Gurland, J. and Sethuraman, J. (1995). How pooling data may reverse increasing failure rate. *J. Am. Stat. Assoc.*, **90**: 1416–1423.

Jorgensen, B., Seshadri, V. and Whitmore, G. A. (1991). On the mixture of the inverse Gaussian distribution with its complementary reciprocal. *Scand. J. Stat.*, **18**: 77–89.

Mills, E. S. (1971). The value of urban land. *The Quality of the Urban Environment*, ed. H. S. Perloff, Wiley, New York.

Park, W. R. (1999). *The Theory and Practice of Econometrics*, 2nd edn. Wiley, New York.

Tang, L. C., Lu, Y. and Chew, E. P. (1999). Mean residual lifetime distributions. *IEEE Trans. Reliabil.*, **48**: 73–78.

Winkler, R. L., Roodman, G. M. and Britney, R. R. (1972). The determination of partial moments. *Manag. Sci.*, **19**: 290–296.

Wong, K. L. (1988). The bathtub does not hold water any more. *Qual. Reliabil. Eng. Int.*, **4**: 279–282.

Wong, K. L. (1989). The roller-coaster curve is in. *Qual. Reliabil. Eng. Int.*, **5**: 29–36.

Wong, K. L. (1991). The physical basis for the roller-coaster hazard rate curve for electronics. *Qual. Reliabil. Eng. Int.*, **7**: 489–495.