

*Jurnal Teknologi*, 39(B) Dis. 2003: 1–16  
© Universiti Teknologi Malaysia

## SIMULASI AIRBUMI BAGI AKUIFER CETEK PESISIR PANTAI DI LEBANGAN SUNGAI KELANTAN

MOHAMAD FAIZAL TAJUL BAHARUDDIN<sup>1</sup>, NORHAN ABD. RAHMAN<sup>2</sup> &  
MOHD FOR MOHD AMIN<sup>3</sup>

**Abstrak.** Penekanan terhadap teknik simulasi aliran airbumi adalah penting sebelum model simulasi digunakan dalam meramalkan perubahan turus airbumi. Teknik menjana model simulasi perlulah melalui prosedur-prosedur seperti menentukan, analisis sensitiviti dan pengesahan sebelum ia digunakan sebagai alat ramalan perubahan turus airbumi. Beberapa andaian dan kemudahan perlu dibuat kerana dalam membina model simulasi seperti keadaan di lapangan adalah sukar untuk dilaksanakan. Model simulasi yang digunakan adalah “Aquifer Simulation Model for WINDows” (ASMWIN) yang menggunakan persamaan beza terhingga aliran airbumi dalam bentuk dua dimensi bagi akuifer tak terkurung. Keputusan ramalan simulasi airbumi pada tahun 2050 menunjukkan hampir kesemua paras turus airbumi di setiap loji di daerah Kota Bharu akan berada di bawah kedudukan teratas skrin terutamanya pada musim kering. Kajian ini dapat membantu pihak bertanggungjawab dalam merancang pengurusan air pada masa akan datang dengan lebih berkesan.

*Kata kunci:* Teknik simulasi, menentukan, analisa sensitiviti, pengesahan, andaian, ramalan

**Abstract.** Emphasis on technique of groundwater simulation is essential before the groundwater model is used to for forecast a groundwater exchange. The simulation technique needs to follow a restricted procedure such as a calibration, sensitivity analysis and validation before it can be used in the forecasting of the groundwater heads exchange. Assumption and simplification are necessary because a reconstruction of simulation model closer to the field situation is difficult to achieve. The simulation model used was “Aquifer Simulation Model for WINDows” (ASMWIN) which consists of finite differential equation in two dimensional for unconfined aquifer. The forecast simulation results in 2050 show that groundwater heads in most of the wellfield in Kota Bharu district below the above of groundwater screen especially in drought season. The findings of this study are particularly useful for improving the groundwater management in the future.

*Keywords:* Simulation technique, calibration, sensitivity analysis, validation, assumption, forecast

### 1.0 PENDAHULUAN

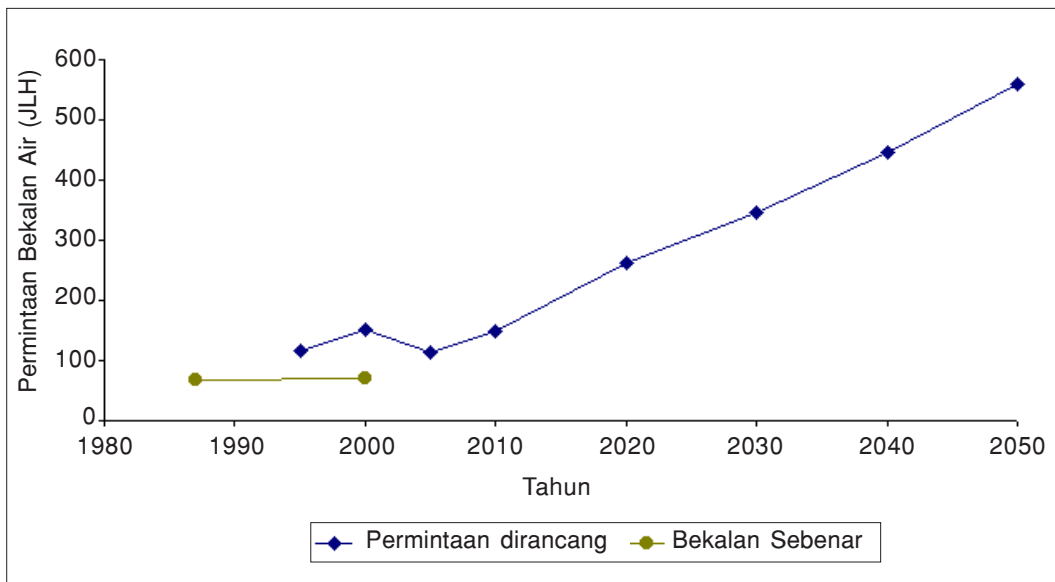
Empat dekad yang lalu, pengurusan sumber airbumi banyak bergantung kepada kaedah lapangan semata-mata [1]. Secara beransur-ansur kaedah lapangan ditukar ganti oleh model simulasi dengan era perkembangan teknologi berkomputer. Cara

<sup>1</sup> Jabatan Kejuruteraan Awam, Kolej Universiti Tun Hussein Onn, Parit Raja, 86400 Batu Pahat, Johor Darul Takzim

<sup>2&3</sup> Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor Darul Takzim

begini bukan sahaja mudah malah ia memberi jawapan yang cepat dan pada kos yang murah kepada pihak yang bertanggungjawab dalam mengurus sumber airbumi berbanding dengan kaedah lapangan.

Kajian ini membincangkan aplikasi model simulasi aliran airbumi dua dimensi yang menggunakan persamaan beza terhingga di daerah Kota Bharu, Kelantan. Lokasi kajian ini dipilih kerana daerah tersebut mengeluarkan sumber airbumi yang terbanyak di Malaysia [2]. Pernyataan masalah kajian adalah berlaku ketidakupayaan loji-loji telaga bekalan air awam bagi menampung permintaan yang dirancang (Rajah 1) [3]. Penggunaan model simulasi dapat membantu pihak yang bertanggungjawab dalam melihat perubahan paras airbumi yang akan berlaku akibat keperluan bekalan yang semakin meningkat. Aplikasi model simulasi dilakukan dengan mengikut prosedur-prosedur yang perlu dipatuhi seperti menentukan, analisis sensitiviti dan pengesahan. Beberapa andaian dan kemudahan perlu dibuat kerana dalam membina model simulasi yang sama seperti di lapangan adalah sukar untuk dilaksanakan [4]. Perkara yang penting dalam menjanakan model simulasi adalah melalui teknik dan konsep model yang betul sebelum ia digunakan dalam sebarang tujuan seperti model ramalan turus airbumi. Kajian ini menunjukkan contoh hasil ramalan perubahan turus airbumi pada masa akan datang iaitu pada tahun 2005 dan 2050 dalam musim kering dan basah pada kedua-dua tahun tersebut. Keputusan yang didapati dibandingkan dengan kedudukan paras skrin teratas bagi setiap loji. Sekiranya turus airbumi berada di bawah kedudukan skrin teratas, maka akan berlaku kurangnya efisien loji tersebut dalam mengeluarkan airbumi [5].



**Rajah 1** Ramalan permintaan dan bekalan air sebenar di daerah Kota Bharu

## 2.0 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif kajian adalah untuk:

- (i) Mengenal pasti teknik-teknik dan andaian-andaian yang dilalui dalam menghasilkan model simulasi airbumi.
- (ii) Menentukan kedudukan turus airbumi pada tahun 2005 dan 2050 dan dibandingkan dengan kedudukan paras skrin teratas bagi setiap loji di sekitar daerah Kota Bharu.
- (iii) Menentukan parameter-parameter hidrogeologi yang sensitif terhadap perubahan aras airbumi.

## 3.0 KAWASAN KAJIAN

Kawasan kajian terletak di Kota Bharu, Kelantan. Skala rantau iaitu Lembangan Sungai Kelantan, melibatkan kawasan kajian yang disempadani oleh Sungai Pengkalan Chepa di utara, Sungai Kelantan di barat, Sungai Pengkalan Datu di timur dan Sungai Lubok Mulong di selatan. Dalam kawasan ini terdapat medan telaga seperti Kg. Puteh, Kubang Kerian, Pintu Geng, Tanjong Mas dan Pengkalan Chepa. Kesemua medan telaga ini mengeluarkan airbumi dari akuifer cetek pesisir pantai yang membekalkan air bagi penduduk di daerah Kota Bharu [2].

## 4.0 HIDROGEOLOGI

Topografi kawasan kajian adalah rata dan mendatar di mana ia diliputi oleh aluvium Kuaternar yang melapisi batuan hampar granit dan metasedimen. Pada umumnya, aluvium Kuaternar yang meliputi kawasan kajian ini mempunyai ketebalan dari beberapa meter berhampiran kaki bukit hingga lebih 150 m apabila menghampiri pantai.

Sumber airbumi di Kelantan utara boleh diperolehi dari akuifer enapan aluvium pesisir pantai. Secara rantau, sistem akuifer ini boleh dibahagikan kepada dua sistem; iaitu sistem akuifer cetek dan sistem akuifer dalam. Kajian yang dibuat [2] menunjukkan terdapat empat akuifer yang wujud dalam enapan aluvium Kuaternar yang mengandungi batu kelikir hingga ke tanah kelodak ataupun campuran kedua-dua bahan. Setiap lapisan akuifer terasing antara satu sama lain oleh lapisan separa telap tanah liat mengikut strata setiap akuifer. Akuifer cetek mengandungi sedimen yang berbeza saiz dari tanah kelodak hingga batu kelikir dan ia menunjukkan ketebalan akuifer dari beberapa meter hingga maksimum 15 m [5]. Kebiasaannya jenis akuifer cetek adalah dari jenis akuifer tak terkurung. Walau bagaimanapun, terdapat akuifer separa terkurung yang wujud di dalam akuifer cetek. Imbuhan yang diperolehi oleh akuifer cetek adalah dari penyusupan menegak air hujan dan penyusupan mendatar dari sungai. Sistem akuifer cetek mengandungi air tawar kecuali di kawasan yang

berhampiran dengan pantai. Ia merupakan sumber utama yang digunakan oleh penduduk tempatan dan loji bekalan air awam.

## 5.0 MODEL SIMULASI ALIRAN AIRBUMI

Model simulasi yang digunakan adalah “Aquifer Simulation Model for WINdows” (ASMWIN). Ia merupakan model dua dimensi yang boleh digunakan di dalam MS-Windows. Program ini [6] merupakan versi yang keenam. Versi pertama ASMWIN dibangunkan pada tahun 1989 dan boleh digunakan hanya dalam sistem MS-DOS. Ia merupakan model yang digunakan sebagai alat mencari perubahan paras airbumi, arah aliran airbumi dan kepekatan bahan cemar. Persamaan pembeza separa bagi aliran airbumi tak mantap dalam media poros yang tepu yang digunakan boleh digambarkan sebagai:-

$$\frac{\partial v_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial v_{sy}}{\partial y} - w = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

di mana,

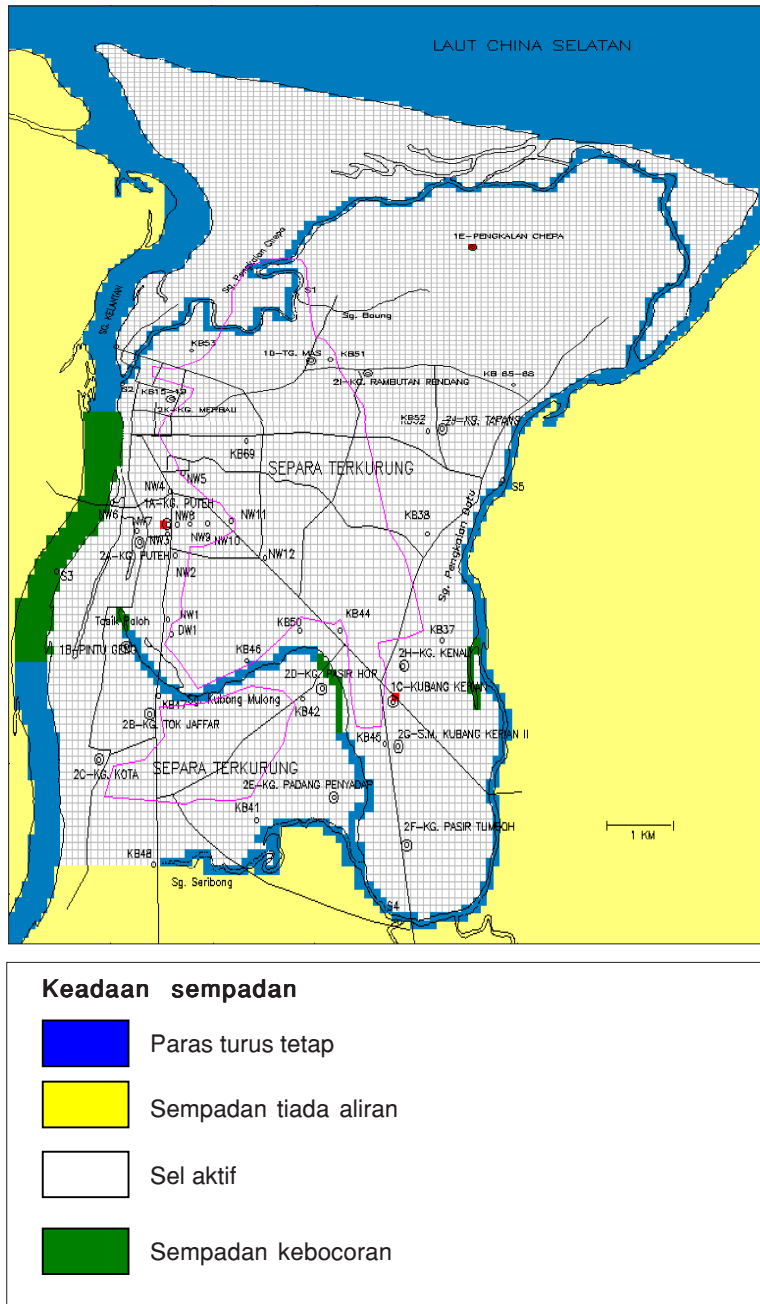
- $v_{sx}$  dan  $v_{sy}$  [jarak/masa] = Nilai khusus pengeluaran ataupun halaju Darcy menerusi unit isipadu sepanjang koordinat paksi  $x$  dan  $y$ .
- $w$  [1/masa] = Isipadu flux per unit isipadu yang menunjukkan keadaan punca atau kebocoran air
- $S_s$ [1/jarak] = Parameter simpanan dalam bahan poros.
- $h$ [jarak] = Turus hidraulik
- $t$  = Masa

## 6.0 NILAI-NILAI PARAMETER DAN ANDAIAN TERHADAP AKUIFER CETEK PESISIRAN PANTAI DI KOTA BHARU

Nilai-nilai parameter dan andaian-andaian dibuat bagi menghasilkan dan memudahkan simulasi aliran airbumi di kawasan kajian. Antara andaian-andaian yang dibuat adalah dalam bahagian keadaan sempadan, keadaan awalan dan jenis akuifer. Parameter-parameter yang digunakan dalam model simulasi ini adalah merupakan parameter-parameter hidrogeologi bagi jenis akuifer tak terkurung.

### 6.1 Keadaan Sempadan

Keadaan sempadan yang digunakan adalah paras tetap, sel aktif, sempadan bocor dan sel tidak aktif ataupun dipanggil sempadan tiada aliran [3]. Rajah 2 menunjukkan grid beza terhingga dan keadaan sempadan yang diaplikasi di kawasan kajian.



**Rajah 2** Grid beza terhingga dan keadaan sempadan di kawasan kajian

## 6.2 Keadaan Awalan

Keadaan awalan adalah keadaan di mana paras airbumi dan paras air permukaan berada dalam keadaan statik tanpa dipengaruhi oleh imbuhan hujan dan pengepaman. Simulasi yang dijalankan adalah dua musim yang berbeza iaitu musim kering dan musim basah. Oleh itu pemetaan dan data keadaan awalan memerlukan dua keadaan musim tersebut.

Secara umum, paras airbumi pada musim kering iaitu peringkat terendah adalah berjulat 1.0 hingga 1.5 m di atas paras aras laut dalam akuifer tak terkurung manakala musim basah pula dalam akuifer tak terkurung adalah berjulat di antara 3.0 hingga 3.5 m di atas paras aras laut. Bagi nilai yang melebihi daripada julat disebut adalah dianggap bahawa paras airbumi berada pada akuifer jenis separa terkurung dan tidak digunakan dalam simulasi [3].

## 6.3 Jenis Akuifer

Dari kajian Ismail dan Ang [5] menunjukkan jenis akuifer yang terdapat pada lapisan pertama adalah bercampur antara akuifer tak terkurung dengan akuifer separa terkurung. Kewujudan percampuran akuifer-akuifer ini dalam lapisan pertama bergantung kepada faktor ketepuan air dengan ketebalan akuifer. Profail subpermukaan yang mempunyai ketebalan akuifer yang tidak seragam di sistem lembangan Sungai Kelantan menyebabkan wujudnya percampuran akuifer itu tadi. Oleh itu jenis akuifer perlu ditentukan terlebih dahulu sebelum sesuatu simulasi aliran airbumi dijalankan. Dalam penentuan sempadan akuifer tak terkurung dengan separa terkurung terdapat beberapa maklumat dan teknik yang diterangkan oleh Mohd. Faizal [3].

## 6.4 Parameter-Paramater yang digunakan

Parameter-parameter yang digunakan dalam model simulasi ini seperti pekali kebolehtelapan, hasil tentu, keliangan berkesan, kadar penyusupan sungai, faktor anisotropik, pengepaman medan telaga dan imbuhan hujan. Kesemua data-data ini dimasukkan kedalam data editor yang disediakan dalam program simulasi tersebut [3].

## 7.0 KAEDAH MENENTUKUR

Dalam proses menentukur, kaedah yang digunakan adalah *Root mean square error* (RMSE) [7]. Ia merupakan alat menentukur yang baik dalam menganggarkan sensitiviti sesuatu model dan prestasi menentukur yang dijalankan. Kaedah ini biasanya digunakan dalam membandingkan dua atau lebih model dengan menggunakan data yang sama. Sekiranya nilai RMSE menghampiri kosong ia merupakan perbandingan antara simulasi dan pemerhatian yang sempurna. Formula 2 menunjukkan RMSE yang diaplikasikan dalam penentuan antara simulasi dan pemerhatian.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum (h_{im} - h_{io})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

di mana,

- $h_{im}$  = Turus simulasi yang diberi pada nod (i)
- $h_{io}$  = Turus yang dicerap yang diberi pada nod (i)
- $N$  = Jumlah nombor nod

## 8.0 MODEL SIMULASI ALIRAN

Permulaan sebarang simulasi model harus dimulai dengan menentukur dalam keadaan mantap aliran airbumi. Antara parameter-parameter yang diubah adalah pekali kebolehtelapan. Selepas keadaan mantap diperolehi, nilai-nilai hasil tentu, faktor penyusupan, imbuan dan pengepaman dimasukkan. Model penentukur dalam keadaan tak mantap dijalankan. Dalam kajian ini, simulasi aliran dilakukan kepada empat fasa iaitu;

- (i) Fasa 1-Menentukur keadaan mantap semasa musim kering pada 25hb Ogos 1976 dan musim basah pada 28hb Disember 1976.
- (ii) Fasa 2-Menentukur dalam keadaan tak mantap semasa musim kering pada 30hb Ogos 1987.
- (iii) Fasa 3-Pengesahan keadaan tak mantap semasa musim basah pada 30hb Disember 1987 dan 5hb Disember 2000 dan musim kering pada 5hb September 2000.
- (iv) Fasa 4-Ramalan paras air pada tahun 2005, 2010, 2020, 2025 dan 2050. Hasil yang didapati digunakan dalam pengaturcaraan lurus bagi tujuan pencarian nilai maksimum ataupun minimum sesuatu fungsi objektif yang hendak diuruskan. Bagi kajian ini, objektifnya adalah mencari nilai maksimum bagi turus yang berada di sekeliling loji Kg. Puteh pada kedua-dua musim dengan meletakkan beberapa syarat kekangan iaitu kadar pengepaman yang dirancang dan kedudukan turus di bahagian teratas skrin.

Bagi Fasa 1 dan 2, data-data paras air permukaan dan paras airbumi diperolehi dari pemetaan profil air bawah tanah yang dibuat oleh Chong dan Pfeiffer [8] dan Wan Mokhtar dan Mohd. Asri [9]. Dalam fasa 3, data diperolehi dari kerja lapangan. Fasa 4, data-data diperolehi dari anggaran yang dibuat oleh pengubal polisi pengurusan air termasuk projek Bekalan Air Kelantan Utara (BAKU) dan juga andaian-andaian yang dibuat oleh Mohd. Faizal [3]. Oleh kerana kajian ini menekankan faktor bermusim dan pengepaman, maka terdapat dua masa dan peristiwa yang sedikit berbeza mengikut musim kering dan basah bagi memenuhi keadaan awalan simulasi kedua-dua musim tersebut.

### **8.1 Menentukan Model Aliran Airbumi keadaan Mantap dalam Musim Kering pada 25 Ogos 1976**

Model aliran airbumi pada keadaan mantap digunakan untuk tujuan menentukan dengan menggunakan data pada 25 Ogos 1976. Semasa menentukan dijalankan dengan prosedur *trial and error*, paramater-paramater hidrogeologi diubahsuai dan keadaan sempadan ditentukan bagi tujuan mencapai hampir sama di antara paras turus airbumi yang diperhatikan dan dimodelkan. Oleh itu, pekali kebolehtelapan diubahsuai dalam bentuk zon semasa proses menentukan dilakukan. Julat pekali kebolehtelapan yang digunakan adalah di antara 0.00620 hingga 0.02550 m/saat.

Proses menentukan dalam keadaan mantap perlu juga mempertimbangkan komponen penyusupan iaitu interaksi sungai dan akuifer. Faktor penyusupan di Sungai Kelantan adalah  $6.56 \times 10^{-5}$  1/saat per nod di mana 255 nod yang bersempadankan dengan sempadan penyusupan menindih di dalam model simulasi aliran airbumi ini. Berdasarkan persetujuan yang rapat di antara turus yang dimodelkan dengan yang dicerap, hasil proses menentukan dalam keadaan mantap adalah memuaskan. Keputusan menunjukkan RMSE yang dikira di antara turus yang dimodelkan dan dicerap semasa proses menentukan di kawasan Kg. Puteh menunjukkan nilai 0.37 m dalam arah paksi-x dan 0.23 m dalam arah paksi-y.

### **8.2 Menentukan Model Aliran Airbumi keadaan Mantap dalam Musim Basah pada 28 Disember 1976**

Model aliran airbumi pada keadaan mantap digunakan untuk tujuan menentukan dengan menggunakan data yang relevan pada 28 Disember 1976. Data-data yang digunakan adalah hampir sama dengan data-data simulasi musim kering kecuali data paras air sungai, turus awal hidraulik dan faktor penyusupan. Keadaan awalan iaitu paras air sungai dan turus awal hidraulik berjulat di antara 3.0 dan 3.5 m. Faktor penyusupan Sg. Kelantan adalah  $4.74 \times 10^{-5}$  1/saat di mana penyusupan berlaku pada ketinggian paras air sungai menyusup masuk adalah 3.5 m.

Berdasarkan persetujuan yang rapat di antara turus yang dimodelkan dengan dicerap, hasil proses menentukan dalam keadaan mantap adalah memuaskan. Nilai RMSE yang dikira di antara turus yang dimodelkan dan dicerap semasa proses menentukan di kawasan Kg. Puteh adalah 0.20 m dalam arah paksi-x dan 0.12 m dalam arah paksi-y.

### **8.3 Menentukan Model Aliran Airbumi keadaan Tak Mantap dalam Musim Kering pada 30 Ogos 1987**

Model keadaan tak mantap ditentukan dari 25 Ogos 1976 hingga 30 Ogos 1987 iaitu jangkamasa selama 4015 hari dengan menggunakan 4 langkah masa dalam ASWIN.



Nilai pekali kebolehtelapan di zon Kg. Puteh ditambahkan sebanyak 5% dari nilai asal iaitu 0.00926 m/s, bagi kawasan yang lain nilai pekali kebolehtelapan dikekalkan sepertimana dalam keadaan mantap. Ini kerana kedudukan turus airbumi pada musim kering berada pada litologi yang berlainan daripada keadaan mantap di mana jenis tanah kelikir berpasir adalah lebih kasar dan menyebabkan liang-liang antara butiran bertambah. Oleh itu nilai pekali kebolehtelapan adalah lebih tinggi daripada biasa. Pekali kebolehtelapan yang digunakan dalam proses menentukur dalam keadaan tak mantap adalah berjalut di antara 0.00620 hingga 0.02550 m/s.

Sumbangan penyusupan hujan sebanyak 12% ke dalam akuifer dalam setahun yang dinyatakan oleh Ismail [10], diubahsuaikan sehingga memuaskan proses tersebut. Didapati nilai 8% dari jumlah hujan tahunan dalam langkah jangkamasa keempat semasa proses menentukur memberikan jawapan yang memuaskan. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh faktor musim kering yang rendah dan proses urbanisasi yang pesat berlaku di bandar Kota Bharu di mana ia mengurangkan kadar resapan menegak air hujan ke dalam akuifer.

Faktor penyusupan di Sungai Kelantan adalah  $6.58 \times 10^{-5}$  1/saat per nod, Sungai Pengkalan Datu adalah  $1.19 \times 10^{-5}$  1/saat, Sungai Lubok Mulong adalah  $3.37 \times 10^{-5}$  1/saat dan Tasik Paloh adalah  $6.92 \times 10^{-5}$  1/saat. Kesemua nilai pengiraan faktor penyusupan dianggap dalam keadaan mantap. Keputusan RMSE turus airbumi bagi Kg. Puteh ialah 0.629 m, Pintu Geng ialah 0.042 m dan Kubang Kerian ialah 0.632 m.

#### 8.4 Analisis Sensitiviti

Tujuan analisis sensitiviti adalah menentukan pengaruh ke atas aras turus apabila paramater akuifer ditambah atau dikurangkan nilainya. Keputusan analisis sensitiviti dilaporkan sebagai kesan perubahan parameter tersebut ke atas ukuran purata kesilapan yang terpilih sepertimana dilakukan dalam kriteria menentukur.

Parameter yang diuji termasuk pekali kebolehtelapan, faktor penyusupan dan kadar penyusupan air hujan. Kaedah RMSE digunakan dalam menganalisis sensitiviti parameter tersebut. Semakin hampir nilai RMSE dengan kosong menunjukkan parameter tersebut kurang sensitif. Jadual 1 menunjukkan peratusan perubahan parameter-parameter tersebut dan nilai RMSE yang didapati.

**Jadual 1** Kesan perubahan nilai parameter-parameter akuifer (%) ke atas nilai RMSE

Parameter	%	RMSE
Pekali kebolehtelapan bertambah	10	0.1766
Pekali kebolehtelapan berkurang	15	0.4049
Kadar penyusupan hujan bertambah	18	0.0623
Kadar penyusupan hujan berkurang	3	0.0161
Faktor penyusupan sungai ke akuifer bertambah	100	0.0011
Faktor penyusupan sungai ke akuifer berkurang	50	0.0017

Keputusan yang didapati menunjukkan paramater-parameter yang paling sensitif adalah pekali kebolehtelapan, diikuti pula kadar penyusupan sungai dan akhir sekali adalah faktor penyusupan sungai ke akuifer.

### **8.5 Menentukur Model Aliran Airbumi keadaan Tak Mantap dalam Musim Basah pada 30 Disember 1987**

Model keadaan tak mantap ditenturkan dari 28 Disember 1976 hingga 30 Disember 1987 iaitu jangkamasa selama 4015 hari dengan menggunakan empat langkah masa dalam model simulasi ASMWIN. Kadar penyusupan hujan dinaikkan semasa musim basah dari 12% ke 16% untuk mendapatkan keputusan yang memuaskan. Analisis sensitiviti dalam menunjukkan kenaikan kadar penyusupan sebanyak 18% tidak menunjukkan nilai RMSE yang tinggi malah ia menghampiri nilai kosong di mana parameter tersebut kurang sensitif. Tujuan kenaikan kadar penyusupan sebanyak 16% adalah seboleh-bolehnya merapatkan lagi data paras airbumi cerapan dan simulasi dalam proses menentukur setelah menggunakan pekali kebolehtelapan yang lebih sensitif berbanding kadar penyusupan. Kadar penyusupan hujan dinaikkan pada tempoh musim basah bermula dari 30 Ogos 1987 hingga 30 Disember 1987. Keputusan nilai RMSE pada musim basah yang bertarikh 30 Disember 1987 bagi Kg. Puteh ialah 0.337 m, Pintu Geng ialah 0.05 m dan Kubang Kerian ialah 0.481 m.

### **8.6 Pengesahan Model**

Tujuan pengesahan model adalah untuk memberi keyakinan kepada penggunaan model tersebut. Data-data yang dicerap di lapangan pada musim kering pada 5 September 2000 dan musim basah pada 5 Disember 2000 digunakan sebagai perbandingan dengan model simulasi. Loji Kg. Puteh dan kawasan sekitarnya dipilih sebagai model bagi tujuan menentukur model pengesahan pada kedua-dua musim tersebut [3].

#### **8.6.1 Pengesahan Model ke atas Penentukur semasa keadaan Tak Mantap dalam Musim Kering pada 5 September 2000**

Dalam menenturkan model aliran airbumi dalam musim kering, data yang baru dimasukkan seperti kadar pengepaman, paras penyusupan air sungai dan kadar penyusupan hujan. Paras air sungai disetkan ke dalam model berdasarkan cerapan yang dibuat oleh Mohd. Faizal [3]. Faktor penyusupan sungai ke akuifer juga menggunakan data yang dikaji oleh Wan Mokhtar dan Mohd. Asri [9]. Kadar penyusupan hujan yang digunakan adalah 12% dari jumlah hujan. Nilai pekali kebolehtelapan tidak diubah sama seperti digunakan pada 30 Ogos 1987. Keputusan

RMSE dalam profil subpermukaan arah paksi- $x$  adalah 0.3823 m dan dalam arah paksi- $y$  adalah 0.4064 m.

### **8.6.2 Model Pengesahan ke atas Penentukur semasa keadaan Tak Mantap dalam Musim Basah pada 5 Disember 2000**

Dalam menentukurkan model pengesahan aliran airbumi dalam musim basah, data yang baru dimasukkan seperti kadar pengepaman, paras penyusupan air sungai dan kadar penyusupan hujan. Paras air sungai disetkan ke dalam model berdasarkan cerapan yang dibuat oleh Mohd. Faizal [3]. Faktor penyusupan sungai ke akuifer juga menggunakan data yang dikaji oleh Wan Mokhtar dan Mohd. Asri [9]. Kadar penyusupan hujan yang digunakan adalah 12% dari jumlah hujan. Nilai pekali kebolehtelapan tidak diubah sama seperti digunakan pada 30 Disember 1987. Keputusan RMSE dalam profil subpermukaan arah paksi- $x$  adalah 0.3452 m dan dalam arah paksi- $y$  adalah 0.5362 m.

## **9.0 MODEL RAMALAN**

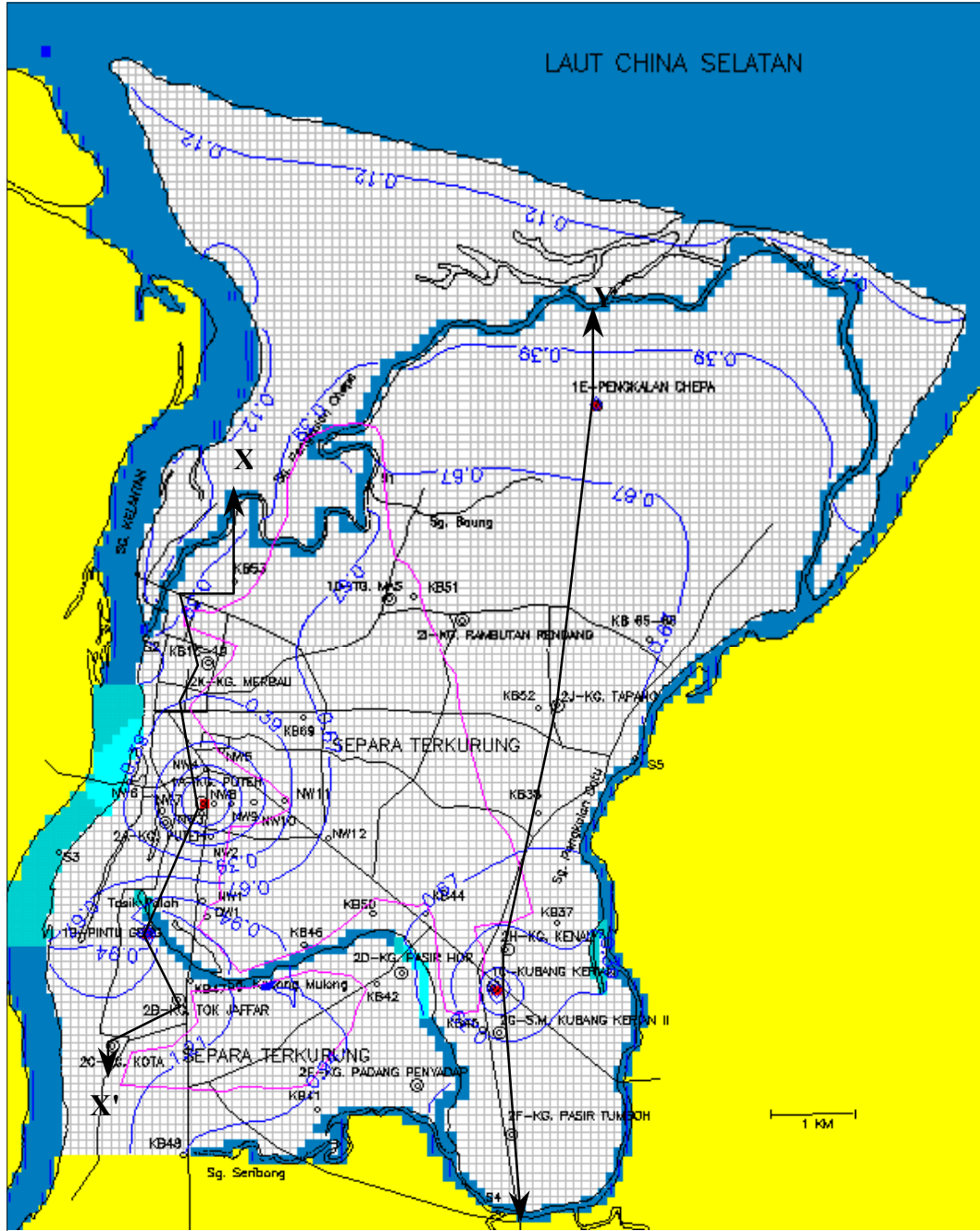
Dua keputusan model ramalan akan ditunjukkan iaitu pada tahun 2005 dan 2050 dalam dua musim yang berbeza. Terdapat beberapa andaian yang perlu semasa menjalankan proses simulasi ramalan paras airbumi berdasarkan andaian yang dibuat oleh Mohd. Faizal [3].

### **9.1 Ramalan 2005**

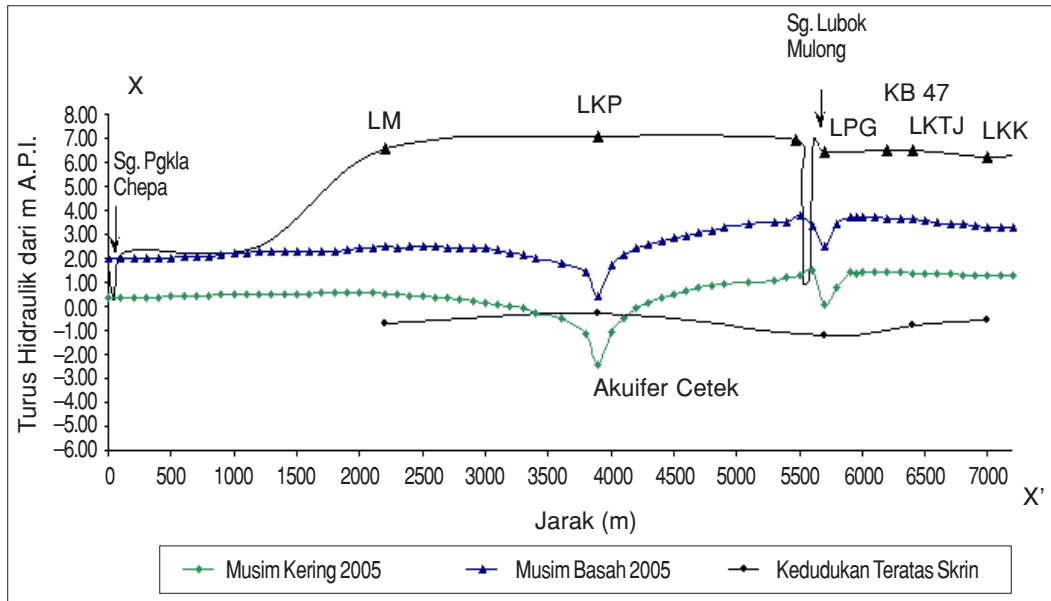
Anggaran permintaan bekalan air pada tahun 2005 adalah 114 juta liter per sehari (JLH). Andaian yang dibuat adalah 70% jumlah bekalan air datang dari medan-medan telaga. Ini bermakna 79.8 JLH jumlah air datang dari medan telaga tersebut. Bakinya datang dari telaga persendirian. Mengikut data tahun 2000 [2], medan telaga dalam mengeluarkan 30 JLH dari loji Tanjung Mas, Kg. Puteh dan Kubang Kerian sementara telaga cetek mengeluarkan 67.3 JLH dari medan-medan telaga lama. Jumlah keseluruhan bekalan air dari medan-medan telaga adalah 97.3 JLH. Ini menunjukkan bekalan sediaada dapat memenuhi permintaan bekalan air 2005. Rajah 3 menunjukkan kontor turus simulasi airbumi pada tahun 2005 dalam musim kering. Manakala Rajah 4 dan 5 menunjukkan ramalan kejatuhan turus mengikut musim dalam dua arah paksi yang berbeza.

### **9.2 Ramalan 2050**

Simulasi ramalan untuk tahun 2050 mempunyai beberapa andaian yang dibuat oleh Mohd. Faizal [3]. Rajah 6 dan 7 menunjukkan ramalan kejatuhan turus mengikut musim dalam dua arah paksi yang berbeza.

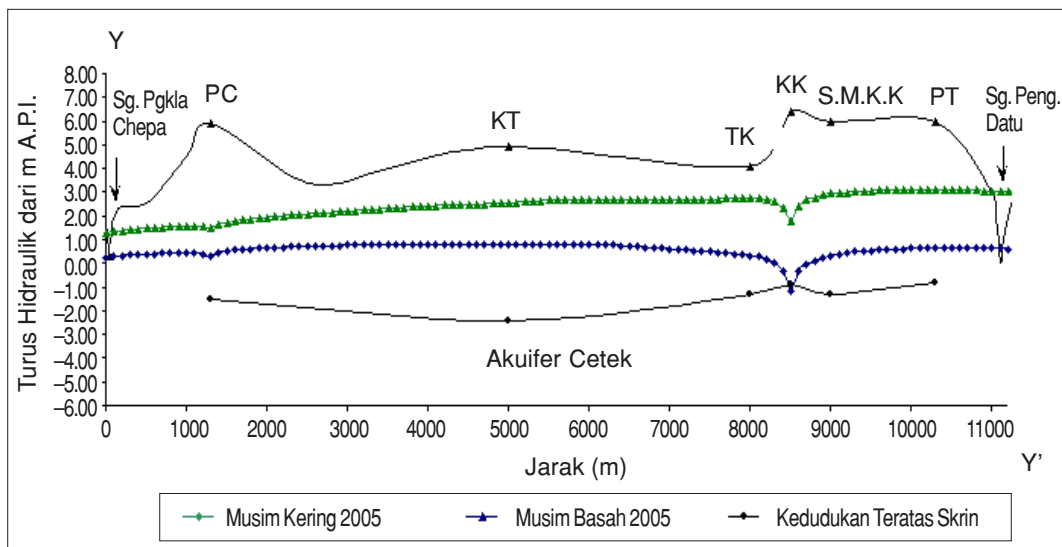


**Rajah 3** Kontor turus airbumi berdasarkan simulasi ramalan semasa musim kering pada tahun 2005



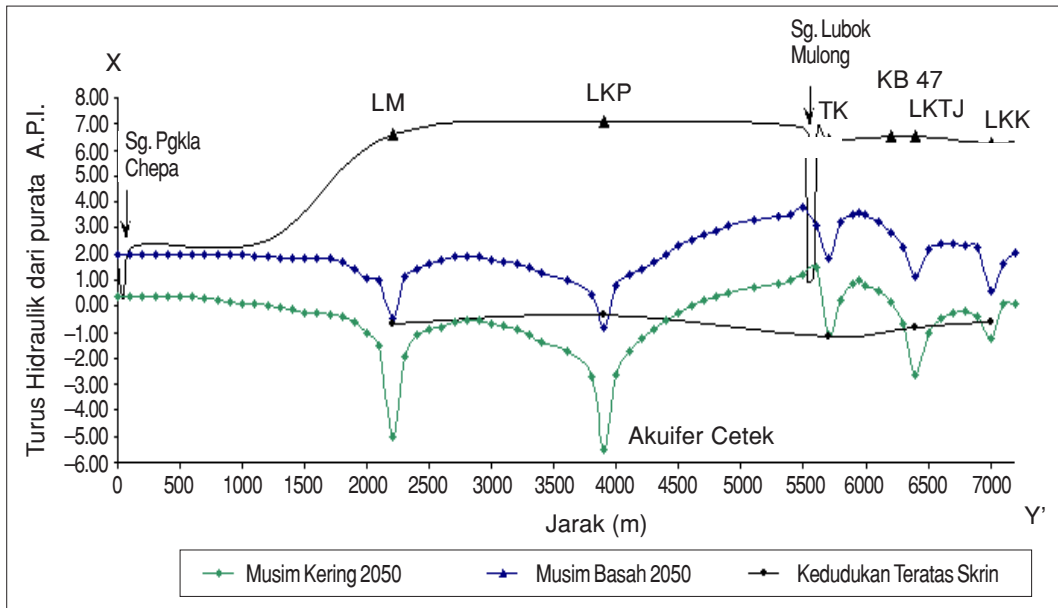
**Rajah 4** Ramalan kejatuhan turus airbumi pada tahun 2005 semasa musim kering dan basah pada paksi X-X'

*Nota:* LM-Loji Merbau, LPG-Loji Pintu Geng, LKTJ-Loji Kg. Tok Jaafar, LKP-Loji Kg. Puteh, KB47-Telaga Pengawasan Kajibumi, LKK-Loji Kg. Kota



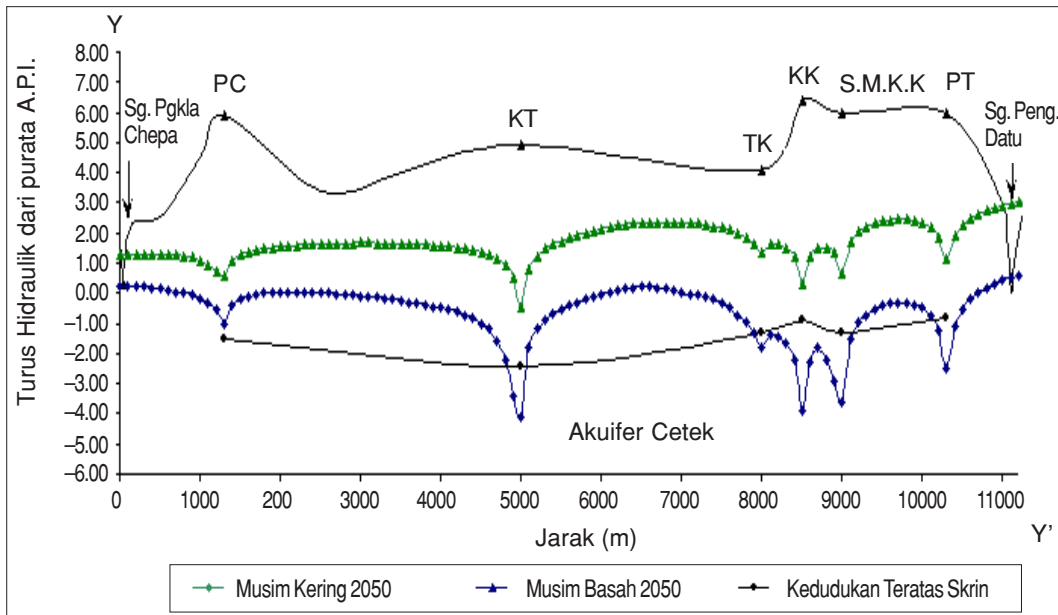
**Rajah 5** Ramalan kejatuhan turus airbumi pada tahun 2005 semasa musim kering dan basah pada paksi Y-Y'

*Nota:* PC-Loji Pengkalan Chepa, KK-Loji Kubang Kerian, KT-Loji Kg. Tapang, S.M.K.K-Loji Sek. Men. Kubang Kerian II, TK-Loji Tok Kenali, PT-Loji Pasir Tumbuh



**Rajah 6** Ramalan kejatuhan turus airbumi pada tahun 2050 semasa musim kering dan basah pada paksi X-X'

*Nota:* LM-Loji Merbau, LPG-Loji Pintu Geng, LKTJ-Loji Kg. Tok Jaafar, LKP-Loji Kg. Puteh, KB47-Telaga Pengawasan Kajibumi, LKK-Loji Kg. Kota



**Rajah 7** Ramalan kejatuhan turus airbumi pada tahun 2050 semasa musim kering dan basah pada paksi Y-Y'

*Nota:* PC-Loji Pengkalan Chepa, KK-Loji Kubang Kerian, KT-Loji Kg. Tapang, S.M.K.K-Loji Sek. Men. Kubang Kerian II, TK-Loji Tok Kenali, PT-Loji Pasir Tumbuh

## 10.0 PERBINCANGAN

Model simulasi yang diaplikasi dalam kajian telah melalui prosedur-prosedur menentukur, analisis sensitiviti dan pengesahan. Semasa menjalankan menentukur, didapati nilai RMSE bagi turus airbumi yang ditunjukkan berjulat di antara 0.632 m hingga 0.042 m. Nilai-nilai RMSE yang tinggi adalah disebabkan paramater hidrogeologi seperti pekali kebolehtelapan adalah dalam keadaan homogen dan isotropik mengikut zon-zon. Keadaan sebenar tidak sebegitu di mana didapati loji Kg. Puteh fasa satu yang beroperasi sekarang menunjukkan nilai pekali kebolehtelapan 0.00925 m/s manakala loji Kg. Puteh fasa dua dari projek BAKU menunjukkan nilai pekali kebolehtelapan 0.0110 m/s [2]. Oleh itu amat sukar mendapatkan nilai RMSE yang rendah kerana variasi “spatial” nilai pekali kebolehtelapan yang besar. Ini ditambah pula dengan pembuktian analisis sensitiviti di mana nilai pekali kebolehtelapan menunjukkan lebih sensitif dari mana-mana parameter simulasi. Sekiranya nilai tersebut diubah, maka keputusan penurunan airbumi jatuh begitu ketara. Keadaan sebenar di lapangan adalah heterogenus dan anisotropik di mana enapan pasir dan batu kelikir tidak seragam di dalam akuifer akibat pegenapan sedimen terganggu. Simulasi yang ditunjukkan hanya sah di dalam lingkungan akuifer tak terkurung sahaja.

Hasil simulasi ramalan yang ditunjukkan dalam Rajah 4, 5, 6 dan 7 mengikut tempoh ramalan tersebut menunjukkan turus airbumi yang lebih tinggi kedudukannya di bahagian selatan kawasan kajian dan ia semakin menurun parasnya apabila menghampiri laut. Rajah-rajah tersebut juga menunjukkan paras turus airbumi di bahagian barat Lembangan Sungai Kelantan adalah lebih tinggi apabila dibandingkan dengan bahagian timur lembangan tersebut. Julat ketinggian paras turus airbumi di bahagian barat adalah di antara 2 hingga 4 m pada musim basah dan 0.4 hingga 1.5 m pada musim kering. Manakala di bahagian timur pula adalah di antara 1.5 hingga 3 m pada musim basah dan 0.2 hingga 1 m pada musim kering. Dicadangkan eksplorasi sumber airbumi baru dilakukan di kawasan selatan dan barat kerana ia mempunyai turus airbumi yang tinggi.

Di dapati tiada gangguan (interference) paras airbumi di antara satu loji ke satu loji yang berdekatan apabila dikenakan tegasan pengepaman yang tinggi di mana masing-masing mempunyai wilayah-wilayah sempadan berpengaruh. Cuma perbezaan yang ketara adalah sempadan berpengaruh semakin lebar dan meluas apabila tegasan pengepaman semakin bertambah.

Model ramalan turus airbumi di Lembangan Sungai Kelantan menunjukkan kejatuhan paras turus airbumi berada di bawah kedudukan teratas skrin terutamanya apabila musim kering dan juga permintaan air yang kian meningkat. Dijangkakan pada tahun 2050, sekiranya pergantungan bekalan air semata-mata dari loji bekalan air awam yang sedia ada dan projek BAKU, hampir kesemua paras turus airbumi di setiap loji akan berada di bawah kedudukan teratas skrin terutamanya pada musim kering sepertimana ditunjukkan dalam Rajah 6 dan 7. Ini akan memberikan masalah kurangnya efisien pengeluaran airbumi dari loji-loji telaga dan juga menghasilkan



pengkerakan besi pada skrin telaga dan lama-kelamaan telaga tersebut tidak boleh digunakan lagi [5].

## 11.0 KESIMPULAN

Sumber airbumi di daerah Kota Bharu sedang mengalami tekanan dari segi keupayaan untuk membekalkan sumber airbumi yang mencukupi. Pemodelan aliran airbumi dapat membuktikan masalah yang akan dihadapi dalam membekalkan air dari sumber airbumi di daerah tersebut. Sekiranya tiada langkah-langkah diambil dalam menangani perkara tersebut, maka masalah bekalan airbumi tidak mencukupi akan berlaku terutamanya pada musim kering. Satu cadangan yang boleh menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menggunakan model pengoptimuman seperti yang dikemukakan oleh Mohd. Faizal [3].

## RUJUKAN

- [1] Gorelick, S. M. 1983. "A Review of Distributed Parameter Groundwater Management Modelling Methods". *Water Resources Research*. 19(2): 305-319.
- [2] SMHB, Ranhill, and Perunding Zaaba. 2000. *National Water Resources Study 2000-2050*. Kelantan State Report. 18: 4-1-5-26, 10-1-10-28.
- [3] Mohamad Faizal Tajul Bahruddin. 2002. "*Pengurusan Airbumi untuk Akuifer Cetek Pesisir Pantai di Kota Bharu, Kelantan, Malaysia*". Universiti Teknologi Malaysia: Tesis M.Eng.
- [4] Ismail, C. M., dan A. N. Kiat. 1997. "Groundwater Flow Modelling". Kursus Asas Pengurusan Sungai dan Air. Jabatan Mineral dan Geosains Ipoh, Perak, Malaysia.
- [5] Ismail, C. M., dan A. N. Kiat. 1995. "Laporan Program Pengawasan Air Tanah Semenanjung Malaysia (Kelantan)". No. Report : GPH 4/96: Jabatan Mineral dan Geosains Ipoh, Perak, Malaysia. m.s. 1-16.
- [6] Chiang, W. H., W. Kinzelbach, and R. Rausch. 1998. "Aquifer Simulation for Windows", Groundwater Flow and Transport Modelling, an Intergrated Model". Berlin Stuttgart: Gebruder Borntraeger Publication.
- [7] Fleming, G. 1975. *Computer Simulation Techniques In Hydrology*. New York: Elsevier.
- [8] Chong, F. S., and D. Pfeiffer. 1976. *Hydrogeological Report, Pasir Puteh/Kelantan*. Geological Survey Malaysia. Report No. GPH 1/1976.
- [9] Wan Mokhtar Nawang, dan Mohd Asri Dris. 1990. "*Pengawasan Airbumi di Kelantan Utara*". Laporan Teknik. Unit Hidrosains dan Penggunaan Remote Sensing. Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia.
- [10] Ismail Mohd. Noor. 1980. "*Prefeasibility Study of Potential Groundwater Development in Kelantan, Malaysia*". Universiti of Birmingham United Kingdom: Tesis Ph.D.1.