

## **Perbandingan Pemetaan Spatial Kepadatan Penduduk Pulau Pinang Menggunakan Kaedah Koroplet dan Dasimetrik**

*Comparing the Mapping on Density Spatial of Penang's Population Using Choropleth and Dasymetric Techniques*

Lam Kuok Choy\*, Nor Ahya' Shahirah Mohd Ramly, Amirah Audadi Madzen & Nur Hakimah Asnawi  
Program Geografi, Pusat Pembangunan, Sosial dan Persekitaran  
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor, Malaysia.  
\*emel: lam@ukm.edu.my

Received: 27 July 2017; Accepted: 12 January 2018; Published: 30 November 2018

### **Abstrak**

Kajian dijalankan untuk memetakan kepadatan penduduk negeri Pulau Pinang menerusi aplikasi kaedah koroplet dan kaedah dasimetrik. Data banci penduduk pada tahun 2010 telah digunakan dalam kajian ini. Data banci penduduk negeri Pulau Pinang mengikut mukim, iaitu 22 buah mukim bagi Seberang Perai Tengah, 16 buah mukim bagi Seberang Perai Utara dan Seberang Perai Selatan, 7 buah mukim bagi Timur Laut dan 22 buah mukim bagi Barat Daya. Guna tanah bagi negeri Pulau Pinang juga merupakan salah satu data input penting bagi kaedah dasimetrik. Oleh itu, guna tanah di negeri Pulau Pinang telah dihasilkan menerusi interpretasi imej satelit Landsat tahun 2010 kepada lapan jenis guna tanah iaitu badan air, hutan, kelapa sawit, rekreasi, padi, bakau, tepu bina dan tanah lapang. Pemetaan kepadatan penduduk menggunakan kaedah koroplet dan kaedah dasimetrik dilaksanakan dan didapati bahawa kaedah dasimetrik dilihat lebih efektif dalam menggambarkan keadaan yang sebenar di lapangan (negeri Pulau Pinang) berbanding dengan kaedah koroplet yang hanya diwakili oleh satu warna sahaja dalam setiap poligon atau mukim yang terlibat, iaitu warna yang gelap (tinggi kepadatan penduduk) dan warna yang pudar (rendah kepadatan penduduk). Hasil kaedah pemetaan dasimetrik pula menunjukkan taburan penduduk adalah tidak sekata walaupun dalam satu mukim atau poligon yang sama. Secara umumnya, peta dasimetrik menghasilkan taburan spatial kepadatan penduduk mengikut nilai kesesuaian menghuni berdasarkan taburan guna tanah.

**Kata kunci** koroplet, dasimetrik, Landsat 5 TM, pemetaan kepadatan penduduk, GIS

### **Abstract**

The study was conducted to map the population density of Penang state through application of koroplet and dasymetric methods. Population census data in 2010 were used in this study. The population census data of Penang by the territory, namely 22 territories for Seberang Perai Tengah, 16 territories for Seberang Perai Utara and Seberang Perai Selatan, seven territories for the Northeast and 22 territories for Southwest. Land use for the state of Penang is also one of the important input data for the dasymetric method. Thus, land use in the state of Penang was created through the interpretation of Landsat satellite image in 2010 to eight types of land use, namely water bodies, forests, palm oil, recreational, paddy, mangroves, non-built up and open space. Population density mapping using the koroplet and dasymetric methods were implemented and it was found that the dasymetric method was seen to be more effective in describing the real situation in the field (Penang state) compared to the method of the koroplet represented by only one color in each polygon or territory involving dark colors (high density population) and faded colors (low density population). The result of the dasymetric mapping method shows that the distribution of the population is uneven even in the same territory or polygon. Generally, the dasymetric map produced the spatial distribution of population densities according to the suitability value of the dwelling based on the land use distribution.

**Keywords** choropleth, dasymetric, Landsat 5 TM, population density mapping, GIS

## **PENGENALAN**

Populasi penduduk dunia telah mengalami kadar pertumbuhan yang tinggi sejak revolusi perindustrian pada akhir abad ke 18 dan semakin meningkat sehingga ke hari ini. Jumlah penduduk dunia yang semakin meningkat akan memberi tekanan yang hebat ke atas sumber alam menerusi persaingan sengit manusia terhadap sumber alam sekitar, misalnya bagi tujuan petempatan, pertanian dan perumahan. Bahkan, dengan peningkatan populasi penduduk di sesebuah negara, sebagai contoh di Malaysia, bakal memberi impak ke atas penyediaan infrastruktur serta perkhidmatan oleh pihak kerajaan atau pihak berkuasa tempatan (PBT). Oleh itu, pihak berkuasa memerlukan data taburan penduduk yang lebih tepat bagi mereka merancang pembangunan dan menyediakan infrastruktur serta penyediaan perkhidmatan yang lebih baik bagi memenuhi permintaan penduduk di negara ini.

Dari sudut pandangan kartografi, kaedah pemetaan kartografi penduduk yang sering digunakan adalah pemetaan koroplet dan pemetaan dasimetrik. Di Malaysia, sehingga ke hari ini, kaedah pemetaan konvensional iaitu kaedah pemetaan secara koroplet masih diguna pakai bagi memetakan sesebuah kawasan. Tidak dinafikan, pemetaan penduduk menggunakan kaedah koroplet merupakan cara yang mudah untuk menggambarkan pengukuran yang berbeza mengikut kawasan geografi, di mana pada kebiasaannya, lebih gelap warna menunjukkan tahap yang lebih tinggi kepelbagaian dan sebaliknya. Namun, kaedah ini turut mempunyai beberapa kelemahan. Masalah utama dalam pemetaan koroplet ialah pemilihan dan penentuan sempadan adalah bebas daripada pemboleh ubah permukaan yang hendak dipetakan (Eicher & Brewer, 2001). Penggunaan pemetaan koroplet adalah terhad, kerana ia tidak dapat digunakan untuk menganalisis data ruangan (data penduduk) yang lebih terperinci, terutamanya di mana bilangan populasi penduduk itu berpusat di sesebuah kampung yang kecil mahupun di bandar-bandar besar. Peta koroplet juga tidak dapat mewakili perubahan statistik dalam sesebuah unit pentadbiran, sebagai contoh perubahan populasi penduduk di sesebuah kawasan. Peta koroplet juga mencadangkan keseragaman dalam poligon dan sempadan, yang mana tidak mencerminkan realiti. Sempadan unit banci tidak mencerminkan taburan geografi penduduk yang sebenarnya, dan mengakibatkan kekeliruan berkaitan dengan variasi dalam zon banci tertentu. Ini sering menimbulkan tanggapan yang tidak tepat bahawa semua lokasi di dalam unit banci tertentu mempunyai kepadatan populasi malar, walaupun sebenarnya pengagihan dalaman populasi adalah tidak homogen (Mennis, 2003). Sebagai contoh, di samping kawasan yang didiami, unit banci mungkin mengandungi kawasan tidak berpenghuni seperti jasad air (kolam, tasik, empangan), jalan raya, hutan, kawasan bandar bukan kediaman, dan kawasan bandar yang mempunyai kepadatan penduduk yang berbeza-beza.

## **KAJIAN LITERATUR**

Kepincangan peta koroplet telah cuba ditangani melalui teknik pemetaan dasimetrik seawal tahun 1936 (Wright, 1936), walaupun pelaksanaan teknik ini berlaku lebih awal di Rusia (Mennis & Hultgren, 2006). Pemetaan dasimetrik cuba menangani masalah kepelbagaian variasi kepadatan dalam suatu unit banci atau sempadan menerusi penghasilan sempadan geografi yang berdasarkan statistik kepadatan variabel yang ingin dipetakan, dengan matlamat menghasilkan unit geografi homogen (Eicher & Brewer, 2001). Walaupun hasil pemetaan dasimetrik masih tertakluk kepada 'The modifiable areal unit problem' (MAUP), dengan mendasarkan sempadan unit penghitungan pada pemboleh ubah yang dipetakan, geografi mendasar adalah lebih baik diwakili (Holt, Lo & Holder, 2004). Ini dicapai melalui penggunaan data sampingan yang membahagikan unit geografi asal kepada unit dasimetrik dengan perubahan sempadan secara mendadak yang mencerminkan perubahan dalam pemboleh ubah yang dipetakan. Dari segi pemetaan populasi, sumber data sampingan termasuk guna tanah, litupan tanah, lot tanah, topografi, lokasi alamat, dan data seumpamanya (Holloway, Schumacher & Redmond, 1997; Eicher & Brewer, 2001; Holt, Lo & Holder, 2004; Maantay, Maroko & Herrmann, 2007; Tapp, 2010; Shepard et al., 2011; Zandbergen, 2011; Mitsova, Esnard & Li, 2012; Thatcher, Brock & Pandleton, 2013; Jia, Qiu & Gaughan, 2014; Cockx & Canters, 2015).

Maklumat unit perumahan dari data sistem maklumat geografi (GIS) seperti lokasi alamat dan rekod cukai sering digunakan sebagai penunjuk lokasi taburan penduduk dalam proses pemetaan dasimetrik. Kaedah dasimetrik berdasarkan unit-unit perumahan telah terbukti lebih tepat berbanding kaedah pemetaan dasimetrik tradisional berdasarkan litupan tanah atau guna tanah sahaja (Tapp, 2010; Zandbergen, 2011; Mitsova, Esnard & Li, 2012). Banyak kaedah pemetaan dasimetrik menggunakan klasifikasi imej untuk

mendapatkan data sampingan seperti litupan tanah untuk digunakan sebagai unit dasimetrik (Fisher & Langford, 1996; Mennis, 2003; Xie, 2006; Kressler & Steinnocher, 2009).

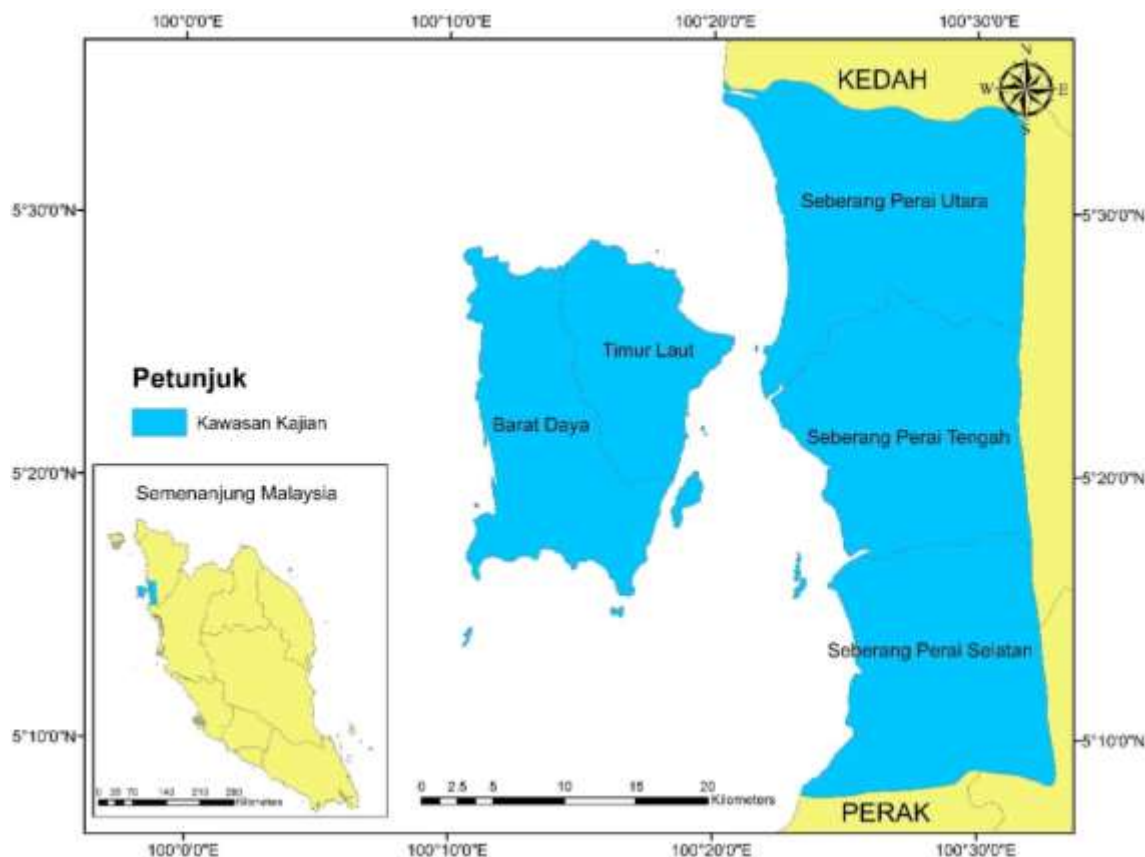
Oleh itu, artikel ini bertujuan memetakan kepadatan penduduk melalui kaedah yang berbeza, iaitu kaedah pemetaan dasimetrik, dalam menggambarkan taburan spatial populasi penduduk di sesuatu kawasan. Berbanding pemetaan secara koroplet yang mempunyai had, pemetaan secara dasimetrik merupakan salah satu cara yang dapat mengubah unit-unit pentadbiran kepada unit peta yang lebih kecil dan lebih relevan (Bielecka, 2005). Penyelidikan terkini menunjukkan bahawa pemetaan dasimetrik boleh menghasilkan anggaran penduduk di sesuatu kawasan kecil dengan lebih tepat berbanding pelbagai teknik interpolasi ruangan (*areal interpolation*) yang tidak menggunakan data sampingan (Mrozinski & Cromley, 1999). Prerogatif untuk pengasingan dasimetrik adalah ketersediaan data sampingan yang lebih terperinci mengenai taburan spatial penduduk. Kaedah pemetaan dasimetrik boleh menjadi sangat berguna dalam mewakili dengan lebih tepat petunjuk sosio ekonomi dan kesihatan. Beberapa kajian telah menggunakan teknik dasimetrik dalam pemetaan jenayah (Bowers & Hirschfield, 1999; Poulsen & Kennedy, 2004), mengukur ketersediaan dalam kajian kesihatan (Langford & Higgs, 2006), keadilan alam sekitar dan kajian kesihatan (Maantay, Maroko & Morgan, 2013). Banyak kaedah untuk memetakan taburan penduduk telah diaplikasikan dalam GIS dan bidang penderiaan jauh. Kebanyakan ahli kartografi lebih suka menggunakan pemetaan dasimetrik untuk memetakan penduduk kerana keupayaannya adalah lebih tepat dalam penghasilan sesuatu data geografi.

Dalam kajian ini, negeri Pulau Pinang, Malaysia telah dipilih sebagai kawasan kajian dalam artikel ini bagi memetakan kepadatan penduduk di negeri tersebut melalui dua kaedah yang berbeza iaitu kaedah pemetaan koroplet dan dasimetrik. Matlamat utama kajian ini adalah untuk membandingkan taburan spatial penduduk menerusi dua kaedah pemetaan kepadatan penduduk iaitu kaedah koroplet dan kaedah dasimetrik dengan menggunakan imej satelit Landsat dan data banci penduduk tahun 2010.

## **KAWASAN KAJIAN**

Pulau Pinang adalah salah satu daripada tiga belas buah negeri yang ada di Malaysia. Ia terletak berhampiran dengan persisiran barat laut Semenanjung Malaysia dan dipisahkan di antara negeri Kedah di sebelah utara dan timur, negeri Perak di sebelah selatan dan perairan Selat Melaka dan Sumatera (Indonesia) di sebelah barat. Pulau Pinang terdiri daripada bahagian pulau dan juga tanah besar yang dikenali sebagai Seberang Perai. Kedudukan Pulau Pinang berada di antara latitud  $5^{\circ} 19' U$  dan longitud  $100^{\circ} 19' T$  dengan jumlah penduduk seramai 1.693 juta orang dan kepadatan penduduk 1,619 orang setiap  $km^2$ .

Pulau Pinang terbahagi kepada lima buah daerah (Rajah 1) iaitu Timur Laut (124 km persegi) dan Barat Daya (175 km persegi) di bahagian pulau, manakala Seberang Perai Selatan (242 km persegi), Seberang Perai Utara (267 km persegi) dan Seberang Perai Tengah (238 km persegi) di sebelah tanah besar. Jumlah keluasan kedua-dua pulau dan Seberang Perai adalah 1,046 km persegi dan ia dihubungkan dengan perkhidmatan feri dan juga dua buah jambatan iaitu Jambatan Pulau Pinang sepanjang 13.5 km dan Jambatan Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah sepanjang 24 km.



Rajah 1 Lokasi negeri Pulau Pinang, Malaysia

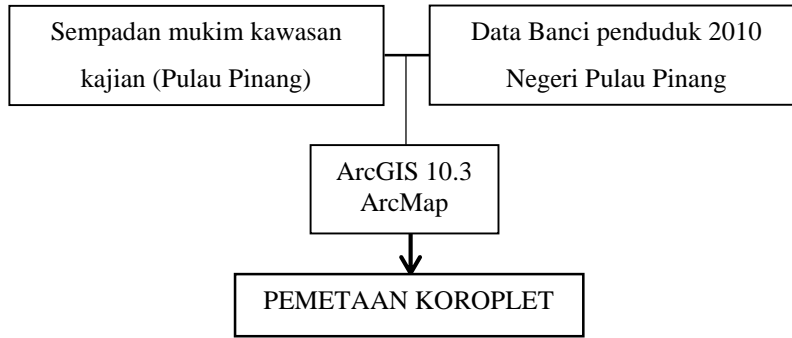
## METOD KAJIAN

Pengelasan guna tanah dan litupan bumi serta perolehan data banci penduduk merupakan aspek penting dalam kajian ini. Oleh itu, kaedah penderiaan jauh diaplikasikan untuk menghasilkan data guna tanah dan litupan bumi di kawasan kajian melalui interpretasi imej Landsat tahun 2010. Manakala, data banci penduduk negeri Pulau Pinang tahun 2010 telah diperolehi daripada Laporan Banci Penduduk Malaysia 2010. Data guna tanah dan banci digunakan untuk memetakan kepadatan penduduk di negeri Pulau Pinang.

### Pemetaan Koroplet

Proses pemetaan koroplet adalah ringkas dan mudah untuk dilakukan (Rajah 2). Data GIS kawasan kajian, iaitu sempadan mukim negeri Pulau Pinang diperlukan bagi proses penghasilan peta koroplet. Begitu juga dengan data banci penduduk 2010 yang telah diperolehi daripada Laporan Banci Penduduk Malaysia tahun 2010. Apabila kedua-dua data ini telah diperolehi, data tersebut diproses dan digabungkan untuk menghasilkan peta koroplet menerusi perisian ArcMap versi 10.3. Di Malaysia, kaedah koroplet sering kali digunakan dan kepadatan penduduk boleh dihitung menggunakan pengiraan berikut:

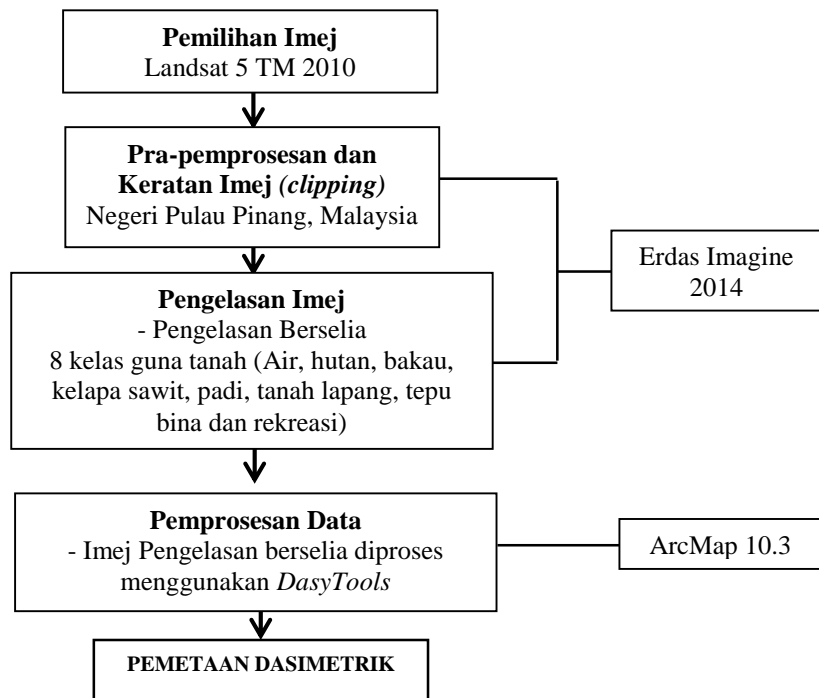
$$\text{Kepadatan penduduk} = \frac{\text{Jumlah populasi penduduk di sesuatu kawasan (orang)}}{\text{Luas kawasan (km}^2\text{)}}$$



**Rajah 2** Prosedur penghasilan peta kepadatan penduduk dengan menggunakan kaedah koroplet

### Pemetaan Dasimetrik

Metod yang digunakan bagi penghasilan peta dasimetrik adalah kompleks jika dibandingkan dengan peta koroplet. Pemetaan dasimetrik dijalankan untuk memetakan variasi spatial dalam taburan kepadatan penduduk sesuatu kawasan. Dalam kaedah pemetaan dasimetrik data banci akan dipetakan ke dalam kelas-kelas guna tanah menerusi teknik interpolasi ruangan. DasyTools 2014 untuk ArcGIS yang dibangunkan oleh United State Geological Survey (USGS) telah digunakan untuk membantu proses pemetaan. DasyTools merupakan satu set *tools* perisian yang digunakan dalam pemetaan dasimetrik yang menggunakan data sampingan, terutamanya data litupan tanah atau maklumat guna tanah yang diinterpretasi dari imej penderiaan jauh bagi meningkatkan ketepatan perwakilan ruangan kepadatan penduduk. DasyTools melaksanakan satu sistem pakar untuk mengoptimumkan ketepatan output pemetaan dasimetrik yang dihasilkan. Proses pemetaan dasimetrik bermula daripada pemilihan imej satelit sehinggalah ke persembahan data yang diperolehi. Prosedur pemprosesan dan penghasilan peta kepadatan penduduk menggunakan kaedah dasimetrik ditunjukkan dalam Rajah 3.

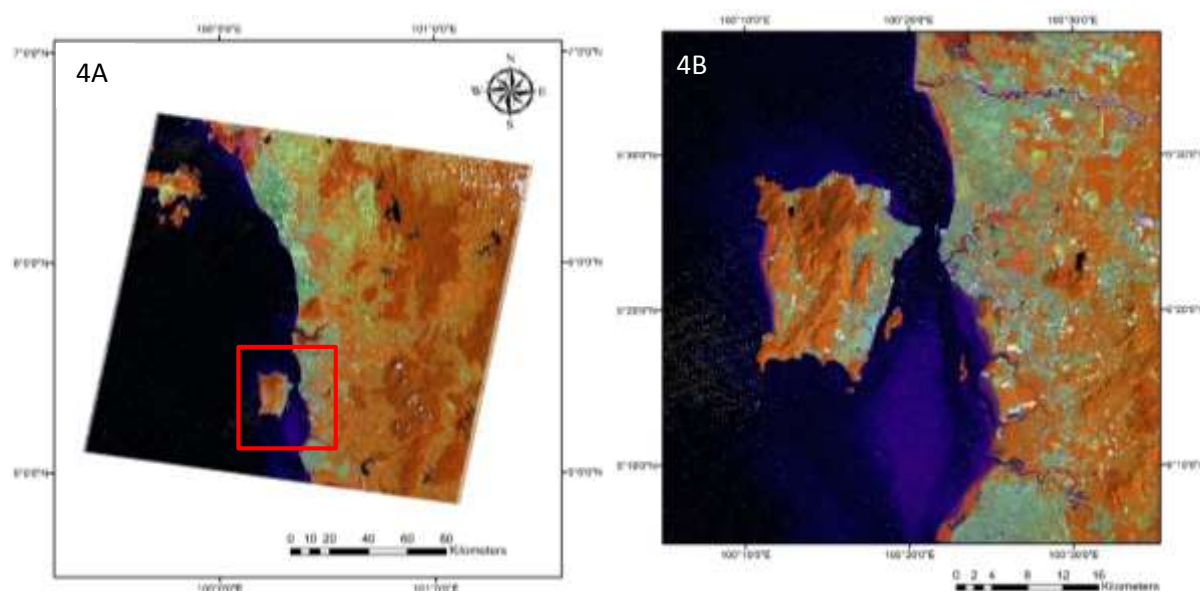


**Rajah 3** Prosedur penghasilan peta kepadatan penduduk menggunakan kaedah dasimetrik

## Pemrosesan Imej Landsat

Langkah pertama dalam prosedur pemetaan kepadatan penduduk ialah pemilihan imej satelit yang sesuai bagi menghasilkan peta guna tanah. Dalam artikel ini, imej satelit Landsat 5 (TM) bertarikh 16 Februari 2010 telah dimuat turun dan diguna sebagai input kepada pemetaan guna tanah dan litupan bumi. Imej tersebut telah dimuat turun daripada laman sesawang USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Langkah pra-pemrosesan imej seperti mengurangkan kesan atmosfera melalui proses *Dark Object Substraction*, penukaran format imej dari *Digital Number (DN)* kepada imej nilai pantulan (*reflectance values*) dilakukan sebelum imej tersebut diproses dalam langkah seterusnya. Imej Landsat asal yang diperoleh adalah merangkumi sebahagian negeri Kedah, Perak dan Perlis (Rajah 4A). Oleh itu, setelah melalui langkah pra-pemrosesan, proses *clipping* dilakukan ke atas imej satelit tersebut bagi memisahkan kawasan Pulau Pinang daripada negeri-negeri yang lain. Tujuan proses *clipping* ini dilakukan adalah bagi memudahkan kerja-kerja pemrosesan imej dan mengurangkan data yang berlebihan dalam imej tersebut. Proses ini telah dilakukan dengan menggunakan perisian ArcMap versi 10.3. Imej yang telah diklip adalah seperti dalam Rajah 4B.



**Rajah 4** A) Imej Landsat TM 2010 meliputi sebahagian dari bahagian utara negara Malaysia pada kombinasi jalur 4, 5, 3. B) Imej Landsat TM 2010 selepas proses 'clip' meliputi negeri Pulau Pinang

## Pengelasan Berselia (*Supervised Classification*)

Menurut Sharifah Mastura (1999), pengelasan data dalam penderiaan jauh digunakan untuk mengagihkan ciri-ciri yang bersamaan kepada kumpulan yang bermakna antara satu dengan yang lain. Pengelasan imej ini mengagihkan kesemua piksel kepada kelas guna tanah atau pada tema khas yang sudah ditetapkan. Proses pengelasan imej ini boleh dibahagikan kepada dua kategori, iaitu pengelasan berselia (*supervised classification*) dan pengelasan tidak berselia (*unsupervised classification*).

Di dalam kajian ini, langkah pengelasan berselia yang digunakan oleh Lam dan Hay (2017) telah diaplikasikan ke atas imej Landsat tersebut dan hasil pengelasan memberikan lapan kategori guna tanah, iaitu, badan air, hutan, bakau, kelapa sawit, padi, rekreasi, tepu bina dan tanah lapang (Rajah 5). Pengelasan lapan kategori guna tanah yang dilakukan mengikut kategori yang paling utama, iaitu guna tanah pembinaan manusia seperti petempatan, kawasan perindustrian dan infrastruktur dikategorikan dalam guna tanah tepu bina, sementara kategori pertanian utama di negeri Pulau Pinang dipisahkan, iaitu padi dan kelapa sawit. Guna tanah badan air termasuklah kawasan empangan, lombong, kolam buatan manusia dan kawasan akuakultur. Padang golf dan kawasan rekreasi telah dikategorikan sebagai rekreasi dan tanah lapang

merujuk kepada kawasan yang dibiarkan lapang (tiada sebarang bangunan), mungkin untuk tujuan pembangunan atau untuk tujuan pertanian.

### **Pemprosesan Data**

Imej yang telah dikelaskan dengan menggunakan pengelasan berselia telah digunakan bagi tujuan pemetaan dasimetrik. Imej telah diproses dengan menggunakan ArcMap versi 10.3. Dalam proses ini juga nilai kepadatan relatif telah diwujudkan (Jadual 1) dan telah disesuaikan dengan nilai kemungkinan tempat tersebut dihuni oleh manusia. Oleh itu, nilai 75 telah diwakilkan bagi guna tanah tepu bina di mana kemungkinan tempat tersebut diduduki oleh manusia adalah tinggi, dan nilai 0 bagi kawasan yang mustahil untuk diduduki oleh manusia iaitu badan air, hutan, bakau, dan tanah lapang.

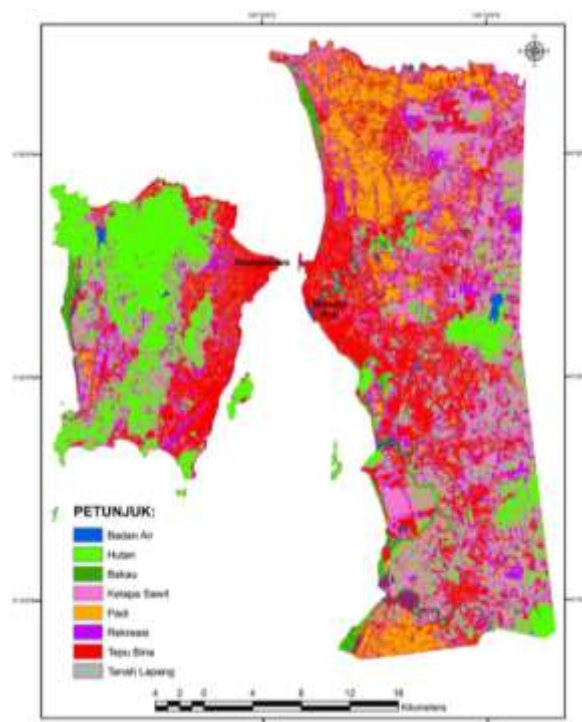
**Jadual 1** Nilai kepadatan relatif yang digunakan untuk pemetaan dasimetrik

<b>Kod Guna Tanah</b>	<b>Nama Guna Tanah</b>	<b>Kepadatan Relatif (R<sub>A</sub>)</b>
1	Badan Air	0
2	Hutan	0
3	Bakau	0
4	Kelapa Sawit	10
5	Padi	10
6	Tanah Lapang	0
7	Tepu Bina	75
8	Rekreasi	5

## **HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN**

### **Guna Tanah dan Litupan Bumi di Pulau Pinang**

Guna tanah dan litupan bumi di negeri Pulau Pinang didominasi kawasan tepu bina iaitu 24,466.5 hektar, iaitu kebanyakannya tertumpu di kawasan bandar seperti di Bandaraya Georgetown dan Bandar Prai (Rajah 5). Guna tanah kedua yang terbesar adalah kawasan hutan (23,586.8 hektar), diikuti dengan kawasan tanaman kelapa sawit (19,354.1 hektar), kawasan tanaman padi (17,224.3 hektar), kawasan tanah lapang (15,412.7 hektar), kawasan rekreasi (2,866.5 hektar) dan kawasan hutan bakau (1,574.37 hektar). Guna tanah badan air adalah guna tanah paling sedikit iaitu 1,386.27 hektar. Justeru itu, jumlah keseluruhan jenis guna tanah yang merangkumi kelima-lima buah daerah negeri Pulau Pinang adalah 105,871.54 hektar.



**Rajah 5** Guna tanah negeri Pulau Pinang tahun 2010 yang dihasilkan dari proses pengelasan berselia ke atas imej satelit Landsat

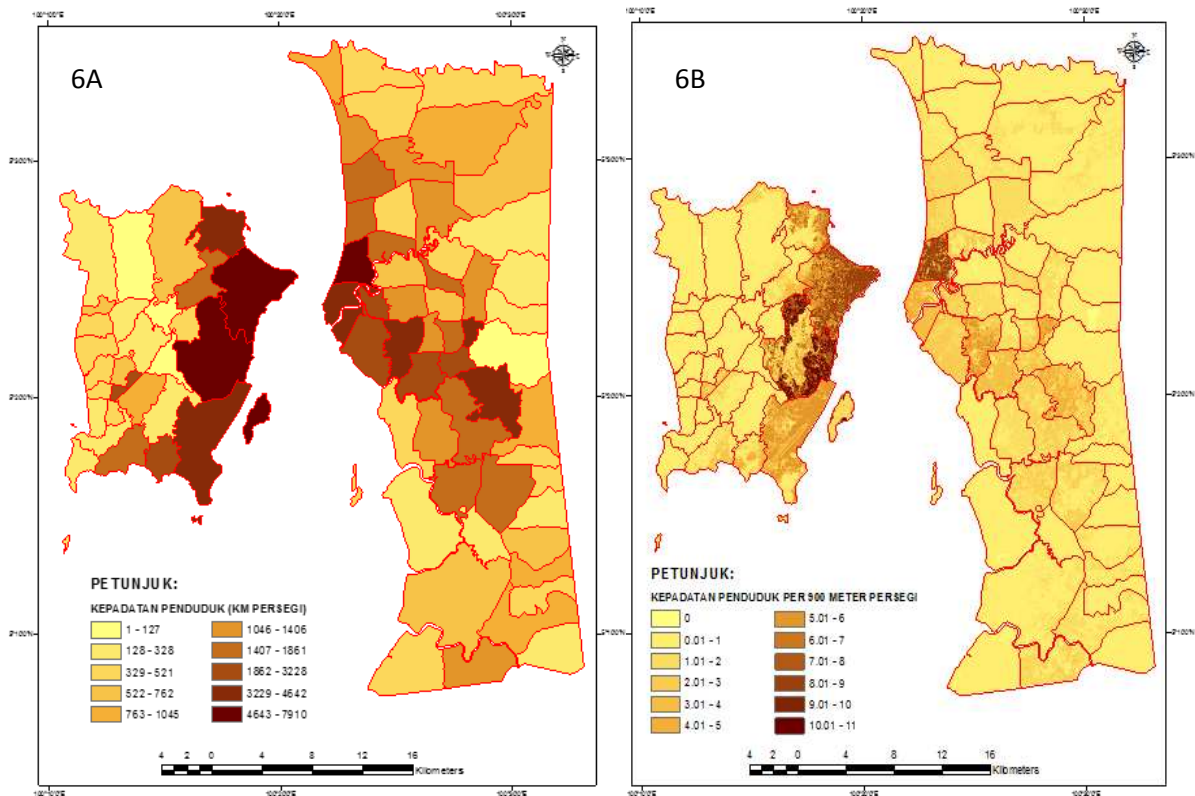
### **Pemetaan Kepadatan Penduduk Dengan Menggunakan Kaedah Koroplet**

Kaedah pemetaan secara koroplet digunakan bagi memetakan kepadatan penduduk. Secara umumnya, kaedah ini sentiasa mendapat perhatian dan sering diguna pakai bagi memetakan kepadatan penduduk. Hal ini kerana, peta ini mudah untuk dihasilkan. Namun, ianya dianggap tidak realistik bagi beberapa pengkaji kerana ia tidak membezakan entiti fisiografi seperti taman, tasik, sungai, jalan raya, hutan dan kawasan pertanian. Oleh itu, situasi ini adalah tidak dapat menggambarkan realiti yang sebenar kerana kawasan ini tidak mungkin dipenuhi dengan penduduk. Peta koroplet juga mencadangkan keseragaman dalam poligon dan sempadan, namun hal ini langsung tidak mencerminkan realiti.

Kaedah pemetaan koroplet menggambarkan taburan tunggal untuk pembancian daerah-daerah atau unit kawasan lain, di mana pada kebiasaannya menerangkan perubahan ruang dengan warna yang berbeza daripada yang lebih gelap (bernilai tinggi) kepada yang pudar (bernilai rendah). Dalam artikel ini, data banci penduduk mengikut pecahan mukim bagi tahun 2010 telah dibahagikan dengan keluasan mukim masing-masing untuk menghasilkan peta kepadatan penduduk setiap mukim di Pulau Pinang.

Berdasarkan Rajah 6A, dapat dilihat bahawa kawasan yang mempunyai penduduk yang tinggi diwakili oleh warna yang gelap (perang gelap), manakala bagi kawasan yang mempunyai penduduk yang rendah diwakili oleh warna yang lebih pudar (kuning pudar). Melalui kaedah pemetaan koroplet, taburan kepadatan penduduk negeri Pulau Pinang adalah di antara 1 hingga 7910 orang per km<sup>2</sup>. Kaedah koroplet mengandaikan peluang atau kebarangkalian seseorang menjumpai penduduk yang tinggal di setiap tempat atau kawasan di atas peta kepadatan adalah melebihi nilai kosong. Sebagai contoh, dapat dilihat bahawa salah satu kawasan yang mempunyai penduduk yang tinggi adalah Bandaraya Georgetown (Timur Laut) iaitu ia berada dalam kategori 4643 sehingga 7910 orang km<sup>2</sup>. Hal ini masuk akal kerana Bandaraya Georgetown merupakan salah satu pusat bandar di Pulau Pinang, namun setiap kawasan di dalam poligon mempunyai warna yang sama dan memberi gambaran taburan penduduk adalah sekata bagi keseluruhan mukim tersebut. Hal ini tidak mungkin berlaku, kerana tidak semestinya setiap ruang di dalam poligon tersebut mempunyai penduduk, mungkin juga ada guna tanah yang lain di kawasan tersebut seperti hutan atau badan air, di mana jika menggunakan kaedah koroplet, perbezaan itu tidak dapat dilihat secara nyata.





**Rajah 6** Peta kepadatan penduduk Pulau Pinang tahun 2010 menggunakan kaedah koroplet (6A) dan kaedah dasimetrik (6B)

### Pemetaan Kepadatan Penduduk Dengan Menggunakan Kaedah Dasimetrik

Kaedah pemetaan dasimetrik telah lama diguna pakai di negara-negara barat, namun, masih kurang diaplikasikan di Malaysia. Kaedah dasimetrik memberikan gambaran yang lebih tepat dalam pemetaan kepadatan penduduk, iaitu setiap poligon tidak diwakili oleh warna yang sama, akan tetapi setiap poligon atau piksel berpotensi memiliki warna yang berbeza mengikut jenis guna tanah kawasan tersebut. Hal ini kerana, taburan penduduk adalah berdasarkan kepada jenis guna tanah kawasan tersebut, iaitu taburan kepadatan penduduk dibahagikan mengikut nilai kepadatan relatif bagi setiap jenis guna tanah. Pemetaan dasimetrik menghasilkan peta kepadatan penduduk mengikut nilai piksel guna tanah kawasan tersebut, kawasan yang merupakan tumpuan penduduk (kawasan tepu bina) mempunyai nilai relatif kepadatan yang lebih tinggi, dan diikuti kawasan yang kurangnya penduduk (kawasan padi, kelapa sawit dan rekreasi), seterusnya kawasan yang tidak mempunyai penduduk langsung (badan air, bakau dan hutan).

Rajah 6B merupakan peta kepadatan penduduk di kawasan kajian (negeri Pulau Pinang) yang telah diproses menggunakan kaedah dasimetrik. Hasil imej yang diproses menunjukkan setiap poligon atau mukim di Pulau Pinang diwakili oleh warna yang berbeza mengikut kepadatan penduduk di kawasan tersebut. Keluasan setiap poligon atau piksel adalah mengikut resolusi spatial data imej Landsat yang digunakan, iaitu 30 m x 30 m (900 meter persegi). Nilai kepadatan penduduk negeri Pulau Pinang menggunakan kaedah pemetaan dasimetrik adalah di antara 0 hingga 11.7 orang setiap piksel (900 meter persegi).

### Perbandingan di Antara Kaedah Koroplet dan Kaedah Dasimetrik

Pemetaan kepadatan penduduk dengan menggunakan kaedah koroplet dan kaedah dasimetrik masing-masing mempunyai kebaikan dan kelemahan yang tersendiri. Namun demikian, sejajar dengan dunia teknologi yang semakin hari semakin canggih ini, kaedah dasimetrik seharusnya dipertimbangkan untuk digunakan bagi memetakan kepadatan penduduk dalam negara ini. Hal ini kerana, pemetaan kepadatan penduduk ini dilihat dapat membantu dalam memudahkan pihak kerajaan bagi menyediakan kemudahan

dan perkhidmatan bagi memenuhi keperluan penduduk sebagai pengguna yang semakin hari semakin meningkat dari semasa ke semasa.

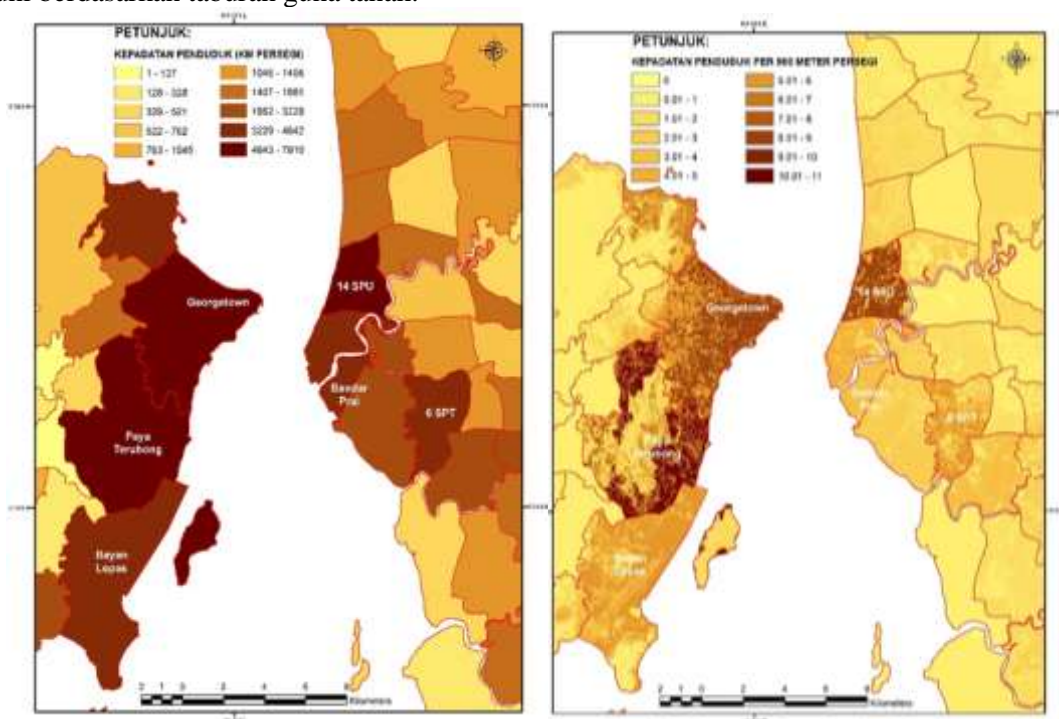
Perbezaan penggunaan kaedah bagi memetakan kepadatan penduduk dengan menggunakan kaedah koroplet dan kaedah dasimetrik telah dipersembahkan di Rajah 6A dan 6B. Dalam rajah tersebut, keseluruhan imej kawasan kajian iaitu negeri Pulau Pinang telah diletakkan secara bersebelahan dengan tujuan untuk membezakan hasil imej yang telah diproses dengan menggunakan dua kaedah yang berbeza, namun bagi tujuan yang sama iaitu untuk memetakan kepadatan penduduk.

Berdasarkan Rajah 6A, dapat dilihat secara visual di mana warna di dalam setiap poligon atau mukim adalah berbeza di antara peta yang menggunakan kaedah koroplet dan kaedah dasimetrik. Bagi peta yang menggunakan kaedah koroplet (kiri), warna di dalam setiap poligon atau mukim sama ada berwarna gelap atau warna yang pudar, di mana warna poligon yang gelap merupakan kawasan yang mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi dan kepadatan penduduk yang kurang bagi poligon yang berwarna pudar.

Namun, bagi kaedah dasimetrik ianya kelihatan lebih kompleks dan lebih mudah untuk diinterpretasikan. Setiap poligon diwakili oleh pelbagai warna, iaitu daripada warna yang gelap dan warna yang pudar mengikut tumpuan penduduk. Pemahaman yang digunakan di dalam kaedah koroplet boleh diguna pakai untuk kaedah dasimetrik ini juga, iaitu warna yang gelap mempunyai nilai kepadatan yang tinggi dan warna yang pudar memiliki kepadatan penduduk yang kurang.

Oleh itu, dapat dilihat dalam Rajah 6A, antara kawasan yang mempunyai kepadatan yang tinggi adalah Bandaraya Georgetown. Namun, berbanding peta koroplet yang mempunyai warna yang sama dalam setiap poligon, peta dasimetrik lebih logik dan masuk akal kerana tidak semestinya setiap ruang Bandaraya Georgetown didiami penduduk kerana, ada juga kawasan yang tidak sesuai didiami oleh penduduk.

Rajah 7 menunjukkan *close up* daripada peta yang ditunjukkan di Rajah 6, di mana peta koroplet di sebelah kiri dan peta dasimetrik di sebelah kanan untuk beberapa mukim di bahagian timur pulau dan muara sungai Perai. Peta ini menunjukkan beberapa mukim daripada Seberang Perai iaitu Mukim 6 Seberang Perai Tengah, Mukim Bandar Prai, Mukim 14 Seberang Perai Utara, Mukim Bandaraya Georgetown dan Mukim Paya Terubong. Mukim tersebut dipilih untuk dilihat dengan lebih dekat di mana setiap mukim mempunyai kawasan petempatan yang agak luas tetapi juga terdapat kawasan pertanian yang besar serta guna tanah lain. Jika dilihat kaedah pemetaan koroplet menghasilkan poligon senilai yang menunjukkan taburan kepadatan penduduk yang sekata bagi setiap mukim. Sebaliknya, hasil kaedah pemetaan dasimetrik pula menunjukkan taburan penduduk adalah tidak sekata walaupun dalam satu mukim atau poligon yang sama. Secara umumnya, peta dasimetrik menghasilkan taburan kepadatan penduduk mengikut nilai kesesuaian menghuni berdasarkan taburan guna tanah.



Rajah 7 *Close up* beberapa mukim di bahagian timur pulau dan sekitar muara sungai Perai: peta koroplet (kiri) dan peta dasimetrik (kanan)

Perbandingan secara visual kedua hasil pemetaan menunjukkan kaedah pemetaan dasimetrik menghasilkan perwakilan spatial kepadatan penduduk yang lebih baik, khasnya di mukim yang mempunyai kawasan luar bandar atau kawasan yang tidak sesuai untuk dihuni seperti bakau, hutan dan badan air. Bagi mukim yang didominasi kawasan pusat bandar atau tepu bina, taburan kepadatan penduduk adalah agak homogenus secara relatifnya dan mempunyai persamaan dengan peta koroplet (contoh, Mukim 14 Seberang Perai Utara). Manakala di kawasan luar bandar, taburan kepadatan penduduk tidak homogenus dan kebiasaannya tertumpu dalam kawasan atau kelompok yang kecil dalam lingkungan sempadan mukim tertentu (contoh, Mukim 6 Seberang Perai Tengah dan Mukim Paya Terubong) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6B.

## KESIMPULAN

Integrasi aplikasi penderiaan jauh dan GIS sebagai alat bantu penyelidikan adalah amat berkesan. Pengaplikasian penderiaan jauh dalam menginterpretasi imej Landsat yang digunakan dalam kajian ini dilihat mampu mengesan dan memahami guna tanah dan litupan bumi di negeri Pulau Pinang yang digunakan sebagai data tambahan bagi proses pemetaan menggunakan kaedah dasimetrik. Dalam artikel ini, guna tanah di negeri Pulau Pinang telah dikategorikan kepada lapan jenis guna tanah iaitu badan air, tepu bina, bakau, hutan, kelapa sawit, padi, rekreasi dan tanah lapang. Pemetaan kepadatan penduduk menerusi kaedah koroplet dan kaedah dasimetrik mempunyai kebaikan dan kelemahan masing-masing. Pemetaan secara koroplet mudah untuk dilakukan, namun hasilnya adalah kurang memberangsangkan, dan tidak dapat menggambarkan situasi sebenar kepadatan penduduk di sesuatu kawasan. Berbanding dengan kaedah koroplet, kaedah pemetaan dasimetrik sukar untuk dilakukan dan prosesnya mengambil masa yang agak lama. Namun, hasilnya lebih memberangsangkan, dan imejnya dapat digunakan untuk menggambarkan keadaan taburan kepadatan penduduk di kawasan tersebut.

Berbanding dengan pemetaan koroplet yang menghasilkan poligon senilai yang menunjukkan taburan sekata bagi setiap mukim, pemetaan dasimetrik sebaliknya menunjukkan taburan penduduk yang tidak sekata walaupun dalam satu mukim atau satu poligon yang sama. Berdasarkan taburan guna tanah, kaedah pemetaan dasimetrik menghasilkan taburan spatial kepadatan penduduk mengikut nilai kesesuaian menghuni. Perbandingan secara visual kedua hasil pemetaan menunjukkan kaedah pemetaan dasimetrik menghasilkan perwakilan spatial kepadatan penduduk yang lebih baik, khasnya di mukim yang mempunyai kawasan luar bandar atau kawasan yang tidak sesuai untuk dihuni seperti bakau, hutan dan badan air. Bagi mukim yang didominasi kawasan pusat bandar atau tepu bina, taburan kepadatan penduduk adalah homogenus secara relatifnya dan mempunyai persamaan dengan peta koroplet. Manakala di kawasan luar bandar, taburan kepadatan penduduk tidak homogenus dan kebiasaannya tertumpu dalam kawasan atau kelompok yang kecil dalam lingkungan sempadan mukim tertentu. Oleh itu, bagi tujuan memetakan taburan kepadatan penduduk, kaedah dasimetrik dilihat mampu memberikan gambaran yang lebih tepat dan realistik bagi taburan spatial penduduk di muka bumi berbanding kaedah koroplet.

Di Malaysia, kaedah dasimetrik masih kurang diaplikasikan bagi tujuan pemetaan kepadatan penduduk di sesuatu negeri mahupun bagi negara Malaysia, walhal, di negara-negara barat kaedah dasimetrik telah mula diguna pakai sejak tahun 1930-an lagi. Bagi menyediakan perkhidmatan yang memenuhi keperluan penduduk di setiap negeri, data mengenai taburan spatial penduduk yang tepat adalah penting. Hal ini kerana, sudah tentu jika kawasan tersebut mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi, perkhidmatan yang perlu disediakan di kawasan tersebut adalah melebihi perkhidmatan yang perlu disediakan bagi kawasan berkepadatan penduduk rendah. Kaedah pemetaan dasimetrik berpotensi dalam membantu pihak kerajaan dan pihak yang berwajib dalam perancangan sesebuah bandar, pengurusan sumber dan juga peruntukan perkhidmatan mengikut keperluan penduduk di sesuatu kawasan. Seiring dengan dunia teknologi yang semakin hari semakin canggih, pihak kerajaan seharusnya mempertimbangkan penggunaan kaedah dasimetrik dalam pemetaan taburan kepadatan penduduk berbanding kaedah koroplet yang sering kali digunakan sehingga ke hari ini.

## RUJUKAN

- Bielecka, E. (2005). A dasymetric population density map of Poland. *Proceedings of International Cartographic Conference*, 9-15 July 2015.
- Bowers, K., & Hirschfield, A. (1999). Exploring links between crime and disadvantage in north-west England: An analysis using geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2), 159-184. doi:10.1080/136588199241409.
- Cockx, K., & Canters, F. (2015). Incorporating spatial non-stationarity to improve dasymetric mapping of population. *Applied Geography*, 63, 220-230.
- Eicher, C. L., & Brewer, C. A. (2001). Dasymetric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*, 28, 125-138.
- Fisher, P. F., & Langford, M. (1996). Modeling sensitivity to accuracy in classified imagery: A study of areal interpolation by dasymetric mapping. *Professional Geographer*, 48, 299-309.
- Holloway, S. R., Schumacher, J., & Redmond, R. L. (1997). *People & place: Dasymetric mapping using arc/info*. Missoula: Wildlife Spatial Analysis Lab, University of Montana.
- Holt, J. B., Lo, C. P., & Holder, T. W. (2004). Dasymetric estimation of population density and areal interpolation of census data. *Cartography and Geographic Information Science*, 31, 103-121.
- Jabatan Perangkaan Malaysia. (2010). *Laporan banci penduduk 2010*. Putrajaya: Jabatan Perangkaan Malaysia.
- Jia, P., Qiu, Y., & Gaughan, A. (2014). A fine-scale spatial population distribution on the high-resolution gridded population surface and application in alachua county, Florida. *Applied Geography*, 50, 99-107.
- Kressler, F., & Steinnocher, K. (2009). Object-oriented analysis of image and LiDAR data and its potential for a dasymetric mapping application. Dlm. T. Balschke, S. Lang, & G. J. Hay, *Object-Based Image Analysis* (pp. 611-623). Berlin, Germany: Springer.
- Lam, K. C., & Hay, A. N. (2017). Mengesan perubahan guna tanah dan litupan bumi menggunakan kaedah penderiaan jauh di daerah Miri, Sarawak. *Geografi*, 5(3), 84-93. Diperoleh daripada <https://ejournal.upsi.edu.my/GetFinalFile.ashx?file=97d53b49-b0cd-4215-a888-c02797ce2bd2.pdf>
- Langford, M., & Higgs, G. (2006). Measuring potential access to primary healthcare services: The influence of alternative spatial representations of population. *The Professional Geographer*, 58(3), 294-306. doi:10.1111/j.1467-9272.2006.00569.x
- Maantay, J. A., Maroko, A. R., & Herrmann, C. (2007). Mapping population distribution in the urban environment: The Cadastral-based Expert Dasymetric System (CEDS). *Cartography and Geographic Information Science*, 34, 77-102.
- Maantay, J. A., Maroko, A. R., & Porter-Morgan, H. (2013). Research note - A new method for mapping population and understanding the spatial dynamics of disease in urban areas: Asthma in the Bronx, New York. *Urban Geography*, 29(7), 724-738. doi:10.2747/0272-3638.29.7.724
- Mennis, J. (2003). Generating surface models of population using dasymetric mapping. *The Professional Geographer*, 55, 31-42.
- Mennis, J., & Hultgren, T. (2006). Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*, 33, 179-194.
- Mitsova, D., Esnard, A., & Li, Y. (2012). Using enhanced dasymetric mapping techniques to improve the spatial accuracy of sea level rise vulnerability assessments. *Coastal Conservation*, 16, 355-372.
- Mrozinski, R. D., & Cromley, R. G. (1999). Singly-and doubly-constrained methods of areal interpolation for vector-based GIS. *Transactions in GIS*, 3(3), 285-301.
- Poulsen, E., & Kennedy, L. W. (2004). Using dasymetric mapping for spatially aggregated crime data. *Journal of Quantitative Criminology*, 20(3), 243-262. doi:0748-4518/04/0900-0243/0
- Sharifah Mastura Syed Abdullah. (1999). *Pengenalan penderiaan jauh*. Bangi: Pusat Pencerapan Bumi, Jabatan Geografi, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Shepard, C. C., Agonstini, V. N., Gilmer, B., Allen, T., Stone, J., Brooks, W., & Beck, M. W. (2011). Assessing future risk: Quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York. *Natural Hazards*, 60, 727-745.
- Tapp, A. F. (2010). Areal interpolation and dasymetric mapping methods using local ancillary data sources. *Cartography and Geographic Science*, 37, 215-228.
- Thatcher, C. A., Brock, J. C., & Pandleton, E. A. (2013). Economic vulnerability to sea level rise along the northern U.S. Gulf Coast. *Coastal Research*, 63, 234-243.
- Wright, J. K. (1936). A method of mapping densities of population with cape code as an example. *Geographic Review*, 26, 103-110.
- Xie, Z. (2006). A framework for interpolating the population surface at the residential housing-unit level. *GIScience & Remote Sensing*, 43, 1-19.
- Zandbergen, P. A. (2011). Dasymetric mapping using high resolution address point datasets. *Transactions in GIS*, 15, 5-27.