

Model Optimisasi Multiobjektif untuk Masalah Alokasi Penggunaan Lahan dengan Menggunakan Data Spasial

Diah Chaerani^{1*}, Budi Nurani Ruchjana¹, Vivian Wilhelmina¹

Abstract: A good land-use allocation is an important effort to create a safe urban space, comfortable, productive, and sustainable. This is as stipulated in UU RI No. 26 of 2007 regarding spatial planning in Indonesia. Therefore the optimization on allocation land use is important to do. In this paper we present a different approach to solve the land-use allocation problem, i.e., by using multiobjective optimization, branch and bound methods and generating spatial data analysis via uniformly weighted matrix. In this problem, the objective function is to maximize the total density index and total comprehensive index of the land-use types. An illustrative data that refer to Region Regulation for Bandung No. 09 of 2009 is presented.

Keywords: Land use, multiobjective optimization, branch and bound method, spatial data.

Pendahuluan

Penggunaan lahan dapat diartikan sebagai proses alokasi sejumlah aktivitas atau fungsi lahan yang berbeda (pertanian, industri, rekreasi atau konservasi) ke dalam unit area yang lebih spesifik (Stewart *et al.* [7]). Masalah penataan ruang di Indonesia diatur dalam UU RI Nomor 26 Tahun 2007 (lihat [12,13]) yakni untuk mengendalikan segala bentuk efisiensi lahan yang bertentangan dengan fungsi guna lahan yang telah ditetapkan, agar terwujud ruang kota yang aman, nyaman, produktif, dan berkelanjutan. Pada kenyataannya, yang terjadi saat ini justru sangat bertolak belakang dari apa yang diharapkan dalam UU tentang penataan ruang tersebut. Banyak alokasi penggunaan lahan yang tidak efisien dan tidak sesuai dengan tata letak kota yang baik. Bahkan tingkat perubahan penggunaan lahan di Indonesia sangat tinggi, yaitu 1.000.000 hektar per tahun (Warlina, [10]). Seiring perkembangan teknologi dan tingginya tingkat pertumbuhan penduduk, maka kebutuhan akan penggunaan lahan juga semakin meningkat. Hal tersebut tentu menimbulkan dampak negatif, diantaranya meningkatnya ketidakteraturan tata kota, kerusakan lingkungan, meningkatnya kesenjangan sosial dan ekonomi, hilangnya lahan pertanian dan hutan, serta hilangnya warisan arsitektur masyarakat, yang semakin diperburuk dengan masih minimnya kesadaran masyarakat (Zielinska *et al.* [11]). Untuk meminimalkan dampak negatif yang terjadi, perlu dilakukan suatu upaya pencegahan. Salah satunya dengan membuat suatu model yang dapat mengoptimalkan alokasi penggunaan lahan.

Model dan metode-metode optimisasi telah banyak digunakan pada masalah alokasi penggunaan lahan dan masih terus berkembang sampai saat ini.

Telah banyak penelitian yang dilakukan mengenai optimisasi penggunaan lahan, beberapa diantaranya Verburg, *et al.* [9] yang membahas mengenai pemodelan spasial dinamis untuk penggunaan lahan regional dengan menggunakan model CLUE-S, Stewart, *et al.* [7] membahas pendekatan Algoritma Genetika untuk masalah alokasi penggunaan lahan multiobjektif, Zielinska *et al.* [11] yang memaparkan optimisasi spasial sebagai salah satu teknik generatif untuk alokasi penggunaan lahan multiobjektif yang berkesinambungan, serta Li, *et al.* [4] yang membahas sistem pendukung keputusan spasial untuk optimisasi terstruktur dari alokasi penggunaan lahan. Penelitian-penelitian mengenai penggunaan lahan di atas bertujuan untuk mencari alokasi penggunaan lahan yang optimal. Menurut Li, *et al.* [4], model alokasi penggunaan lahan (APL) dapat digunakan untuk meminimumkan fungsi tujuan (misalnya minimumkan biaya) ataupun memaksimalkan fungsi tujuan (misalnya maksimumkan indeks kepadatan).

Dalam makalah ini dilakukan penentuan indeks komprehensif dan indeks kepadatan dari fungsi objektif pada model APL yang digunakan oleh Li, *et al.* [4], dimana dalam makalah tersebut tidak disebutkan bagaimana cara penentuan kedua koefisien tersebut. Penentuan kedua indeks tersebut dilakukan dengan menggunakan analisis data spasial dengan cara menentukan matriks bobot seragam untuk menentukan.

Selain itu dari sisi teknik optimisasi yang digunakan, meskipun model optimisasi multiobjektif yang disajikan dalam makalah ini adalah model yang sama dari Li, *et al.* [4]. Namun cara penentuan

¹ Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Matematika, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor Sumedang 45323, Indonesia.
Email: d.chaerani@unpad.ac.id, budinr@unpad.ac.id

* Penulis korespondensi

solusi optimal pada makalah ini dilakukan dengan cara yang berbeda dengan metode optimisasi yang dipilih oleh Li *et al* [4]. Pada metode tersebut penentuan solusi optimal ditentukan dengan menggunakan Algoritma Genetika, sedangkan dalam makalah ini penentuan solusi optimal ditentukan dengan menggunakan penggabungan salah satu pendekatan penyelesaian masalah optimisasi multiobjektif yaitu Metode *Lexicographic* (lihat Isserman [3] dan Marler [5]) pada penentuan prioritas fungsi objektif dan Metode *Branch and Bound* (lihat Mitten [6]) untuk mengatasi eksistensi dari variable biner yang terlibat pada masalah ini.

Metode Penelitian

Berikut disajikan masalah optimisasi multiobjektif yang diperkenalkan oleh Li, *et al.* [4].

$$\max Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n z_{ik} x_{ik} ; \max R_k = \sum_{i=1}^n r_{ik} x_{ik} \quad (1)$$

sedemikian hingga

$$B_{1k} \leq \sum_{i=1}^n a_i x_{ik} \leq B_{2k}, \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, \forall i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad (4)$$

Dimana z_{ik} adalah notasi untuk indeks komprehensif ketika perencanaan unit i diubah menjadi penggunaan lahan tipe k , r_{ik} adalah indeks kepadatan ketika perencanaan unit i diubah menjadi penggunaan lahan tipe k , B_{1k} adalah jumlah minimum area pada penggunaan lahan tipe k , B_{2k} adalah jumlah maksimum area pada penggunaan lahan tipe k , a_i adalah luas area pada perencanaan unit i , dan variable keputusan dalam masalah ini dinyatakan sebagai

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{jika perencanaan unit } i \text{ diubah} \\ & \text{menjadi penggunaan lahan tipe } k \\ 0 & \text{selainnya} \end{cases} \quad (5)$$

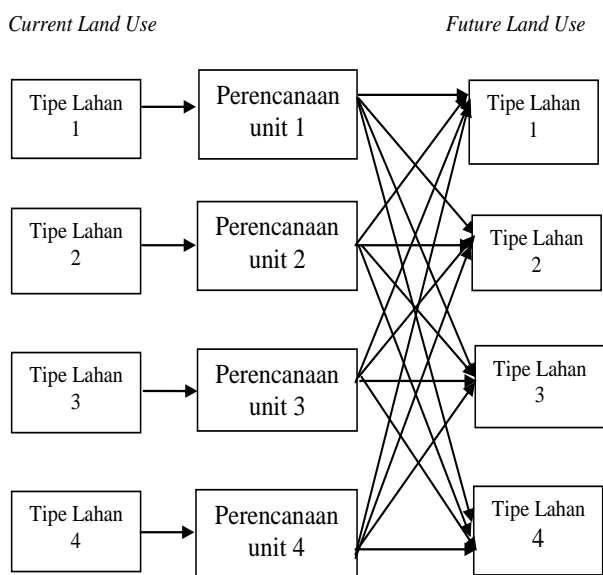
Masalah utama yang diselesaikan dalam makalah ini adalah menentukan apakah akan terjadi perubahan pada suatu tipe penggunaan lahan yang direncanakan. Dalam hal ini, secara spesifik akan ditentukan apakah perencanaan unit ke- i pada tipe penggunaan lahan saat ini (*current land use*) berubah menjadi tipe penggunaan lahan ke- k yang direncanakan (*future land use*). Perubahan tipe penggunaan lahan ini harus dapat memaksimumkan jumlah total dari indeks komprehensif dari skema distribusi alih fungsi guna lahan. Misalkan terdapat n jenis tipe penggunaan lahan (*current land use*).

Pada masing-masing penggunaan lahan tipe ke- i tersebut dibuat dalam suatu perencanaan unit ke- i dimana masing-masing perencanaan unit mewakili tipe penggunaan lahan, sehingga terdapat n perencanaan unit. Seluruh perencanaan unit tersebut akan diubah ke dalam k tipe penggunaan lahan masa depan (*future land use*).

Untuk setiap perubahan suatu tipe penggunaan lahan tipe ke- i menjadi tipe- k , dapat ditentukan suatu besaran yang disebut Indeks Komprehensif dari skema distribusi yang ada, serta suatu besaran lainnya yang disebut Indeks Kepadatan untuk perubahan tipe penggunaan lahan tersebut. Kedua indeks ini dinotasikan dengan z dan R .

Kedua indeks tersebut dihitung berdasarkan Matriks Bobot Spasial (dalam hal ini digunakan Matriks Bobot Seragam yang menyatakan korelasi antar lahan Besag [1] dan Bannet [2]). Hal ini dilakukan mengingat masalah penggunaan lahan adalah masalah keruangan atau spasial, sehingga pendekatan analisisnya perlu dengan analisis spasial. Analisis spasial bertujuan untuk mengetahui hubungan antar lokasi yang berdekatan (Warlina [10]). Korelasi antar lokasi tersebut kemudian dipresentasikan melalui matriks bobot seragam.

Masalah APL ini dibatasi oleh kondisi dimana setiap perencanaan unit hanya boleh diubah menjadi satu tipe penggunaan lahan serta harus memenuhi batas minimum dan maksimum dari setiap tipe penggunaan lahan yang ada. Sebagai gambaran dari deskripsi masalah di atas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Aliran alokasi lahan

Analisis Data Spasial

Data spasial adalah data yang dikumpulkan berdasarkan lokasi dalam ruang yang memiliki korelasi satu sama lain. Informasi tentang data spasial dapat berupa informasi sumberdaya lahan (batuan, tanah, hutan, air, mineral), sumberdaya sosial (penduduk), sumberdaya ekonomi, dan lain lain (lihat Suprpto [8]).

Analisis data spasial merupakan salah satu kajian statistika yang difokuskan terhadap data di suatu lokasi yang berdekatan. Dalam melakukan analisis spasial, perlu untuk mengetahui hubungan antar lokasi yang berdekatan, yang disebut dengan *neighbourhood* (tetangga).

Korelasi antar lokasi direpresentasikan melalui matriks bobot **W** yang merupakan matriks bujur sangkar yang memiliki entri-entri berupa bobot antara dua lokasi yang bersesuaian. Salah satu permasalahan yang timbul adalah bagaimana menentukan bobot antara dua lokasi. Bentuk bobot yang selama ini sering digunakan adalah bobot seragam, karena paling sederhana dan mudah untuk ditentukan. Teori selanjutnya membahas mengenai matriks biner dan matriks bobot seragam. Referensi utamanya dirujuk Besag [1] dan Bennet [2].

Matriks Biner

Matriks biner merupakan bentuk matriks yang paling sederhana dan menyatakan hubungan antara dua lokasi. Setiap entri dari matriks biner diberi nilai 1 dan 0. Entri matriks diberi nilai 1 jika lokasi saling berhubungan (bertetangga) dan 0 jika tidak. Sedangkan entri matriks terhadap dirinya sendiri diberi nilai 0 ($w_{ii} = 0$). Entri dari matriks biner dapat ditentukan sebagai berikut:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jika } i \text{ dan } j \text{ merupakan tetangga} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Selanjutnya entri setiap bobot w_{ij} dinyatakan oleh matriks **W** sebagai berikut:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & 0 & \dots & w_{2N} \\ \vdots & & & \vdots \\ w_{N1} & w_{N2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Matriks Bobot Seragam

Matriks bobot seragam merupakan standarisasi dari matriks biner. Matriks bobot seragam adalah salah satu jenis matriks bobot yang sering digunakan karena merupakan bentuk yang paling sederhana dan mudah ditentukan. Bobot seragam ditentukan

berdasarkan banyaknya lokasi pengamatan lain disekitar lokasi pengamatan tertentu atau dengan kata lain banyaknya tetangga terdekat dalam suatu kelompok lokasi. Bobot seragam ditentukan sebagai berikut:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1/n_i & \text{jika } i \text{ dan } j \text{ merupakan tetangga} \\ 0 & \text{selainnya} \end{cases}$$

dengan n_i menyatakan banyaknya tetangga terdekat dari lokasi i Sifat-sifat matriks bobot seragam diantaranya:

(i) $w_{ij} > 0$ dan $w_{ii} = 0$ (8)

(ii) jumlah bobot untuk setiap lokasi adalah satu: $\sum_{j=1}^N w_{ij} = 1 \forall i$ (9)

(iii) $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} = N$ (10)

Selanjutnya entri setiap bobot w_{ij} dinyatakan oleh matriks **W** seperti pada persamaan (6).

Reformulasi Model Optimisasi Multiobjektif APL dalam Bentuk Matrik

Pada subbab ini disajikan reformulasi masalah optimisasi multiobjektif APL dalam bentuk matriks. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengolahan data dengan menggunakan bantuan software aplikasi MATLAB.

Perhatikan dari persamaan (1), fungsi objektif dapat dinyatakan kembali dalam bentuk perkalian antara dua vektor

$$\max Z = z^T x; \max C = Rx \tag{11}$$

dimana z merupakan vektor indeks komprehensif, R merupakan vektor indeks kepadatan dan x variable keputusan yang bernilai 1 atau 0. Fungsi kendala pertama (2) dapat dinyatakan kembali sebagai

$$\underline{D} \leq Ax \leq \overline{D} \tag{12}$$

dimana \underline{D} dan \overline{D} adalah jumlah area minimum dan maksimum yang dapat berubah penggunaan lahannya, serta A adalah koefisien matriks luas area pada perencanaan unit i . Selanjutnya, fungsi kendala kedua (lihat persamaan (3)) yang menyatakan bahwa setiap perencanaan unit i hanya dapat diubah kedalam satu penggunaan lahan tipe k , dapat ditulis kembali menjadi

$$Bx = 1 \tag{13}$$

dimana B adalah matriks dengan B_{ik} bernilai 1 jika tipe lahan ke- i berubah menjadi tipe lahan k dan bernilai 0 untuk kondisi lainnya. Sehingga model optimisasi multiobjektif APL dapat direformulasi menjadi:

$$\max \left\{ \begin{array}{l} \{Z = z^T x; C = Rx\} \\ Ax \geq \underline{D} \\ Ax \leq \overline{D} \\ Bx = 1 \\ x \in \{0,1\} \end{array} \right\} \quad (14)$$

Masalah (14) dapat disajikan dalam bentuk standar dengan mengubah fungsi tujuan dengan fungsi minimasi, serta penambahan variabel *slack* t , variabel *surplus* u dan variabel *artificial* v , sehingga diperoleh model berikut:

$$\min \{Z = -z^T x; C = Rx\}$$

sedemikian hingga

$$\begin{bmatrix} A & -I & 0 & I \\ A & 0 & I & 0 \\ B & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ t \\ u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{D} \\ \overline{D} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$x \in \{0,1\}, t, u, v \in R_+$$

Penentuan Indeks Komprehensif dan Indeks Kepadatan

Indeks komprehensif dan indeks kepadatan pada fungsi objektif ditentukan dengan menggunakan matriks bobot seragam, yang menyatakan hubungan (korelasi) antar lokasi lahan. Indeks komprehensif dari skema distribusi perencanaan alih fungsi lahan dan indeks kepadatan dapat ditentukan dengan cara berikut. Misalkan matriks bobot seragam W untuk suatu kombinasi lahan ditulis dalam bentuk berikut

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} \quad (16)$$

dimana w_i adalah baris ke- i dari matriks bobot seragam W . Vektor kolom z yang merepresentasikan indeks komprehensif peralihan fungsi lahan tipe i menjadi tipe k untuk kombinasi lahan ke- i , dapat ditentukan dengan cara berikut.

$$z^T = [w_1^T \quad w_2^T \quad \dots \quad w_m^T] \quad (17)$$

dan matriks indeks kepadatan R yang merepresentasikan matriks insidensi dimana baris R menyatakan kemungkinan peralihan perencanaan lahan tipe i menjadi tipe k , dan kolom pada matriks R menyatakan tipe lahan ke- j , sehingga entri matriks indeks kepadatan dapat ditentukan dengan cara berikut

$$R_{((i,k),j)} = \begin{cases} z_{ij} & \text{jika } k = j \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (18)$$

Karakterisasi Model dan Algoritma Pencarian Solusi Optimal

Karakteristik model untuk formula (15) dapat dipaparkan bahwa fungsi objektif merupakan persamaan linear. Fungsi objektif pada formula (15) berbentuk *multiobjective function*, sehingga dalam proses penyelesaiannya menggunakan Metode *Lexicographic* (lihat Isserman [3]) yakni dengan mengurutkan fungsi objektif berdasarkan urutan prioritasnya. Pilih total indeks komprehensif sebagai fungsi objektif dengan prioritas pertama dengan asumsi bahwa perhitungan indeks komprehensif menghasilkan nilai optimal untuk keseluruhan lahan sehingga bersifat lebih menyeluruh sedangkan indeks kepadatan menghasilkan nilai optimal pada masing-masing lahan (bukan secara keseluruhan). Total indeks kepadatan merupakan fungsi objektif dengan prioritas kedua. Fungsi kendala merupakan persamaan linear dan variabel keputusan berupa bilangan biner.

Algoritma penentuan solusi optimal untuk masalah ini dapat dirangkum menjadi tahapan berikut.

Pandang masalah optimisasi multiobjektif APL (15). Selesaikan masalah LP relaksasi dari (15) menggunakan Metode *Lexicographic* (lihat Isserman [3] dan Marler [5]) dengan prioritas fungsi objektif pertama pada indeks komprehensif. Selesaikan masalah ini dengan menggunakan Metode *Simpleks*.

Periksa apakah solusi optimal yang dihasilkan masih memuat variable non biner? Jika ya, lanjutkan perhitungan dengan menggunakan Metode *Branch and Bound* (lihat Mitten [6]). Dengan pemilihan variable *branching* (pencabangan) pada variable yang bernilai non-biner pertama. Lakukan proses *bounding* pada setiap nilai fungsi objektif yang diperoleh dengan pembulatan ke bawah. Selanjutnya lakukan langkah *fathoming* (pemangkasan) dengan memeriksa:

Kriteria F(1) bila nilai fungsi objektif lebih kecil dari nilai batas yang telah ditentukan pada awal perhitungan, atau $Z < Z^*$, dimana Z^* adalah nilai fungsi objektif incumbent.

Kriteria F(2) bila hasil perhitungan memberikan solusi yang infisibel.

Kriteria F(3) bila hasil perhitungan memberikan solusi yang integer dengan nilai fungsi objektif yang diperoleh merupakan nilai objektif maksimum (pada masalah maksimisasi) atau minimum (pada masalah minimisasi).

Tabel 1. Matriks bobot spasial untuk 12 kombinasi dari 4 jenis lahan yang berbeda

No	Kombinasi Lahan	Matriks Bobot	No	Kombinasi Lahan	Matriks Bobot								
1.	<table border="1"><tr><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td><td>L4</td></tr></table>	L1	L2	L3	L4	$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	7	<table border="1"><tr><td>L2</td><td>L1</td><td>L3</td><td>L2</td></tr></table>	L2	L1	L3	L2	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
L1	L2	L3	L4										
L2	L1	L3	L2										
2.	<table border="1"><tr><td>L1</td><td>L2</td><td>L4</td><td>L3</td></tr></table>	L1	L2	L4	L3	$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \end{bmatrix}$	8	<table border="1"><tr><td>L2</td><td>L1</td><td>L4</td><td>L3</td></tr></table>	L2	L1	L4	L3	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,5 & 0 & 0,5 & 0 \end{bmatrix}$
L1	L2	L4	L3										
L2	L1	L4	L3										
3.	<table border="1"><tr><td>L1</td><td>L3</td><td>L2</td><td>L4</td></tr></table>	L1	L3	L2	L4	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	9	<table border="1"><tr><td>L2</td><td>L3</td><td>L1</td><td>L4</td></tr></table>	L2	L3	L1	L4	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
L1	L3	L2	L4										
L2	L3	L1	L4										
4.	<table border="1"><tr><td>L1</td><td>L3</td><td>L4</td><td>L2</td></tr></table>	L1	L3	L4	L2	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \end{bmatrix}$	10	<table border="1"><tr><td>L1</td><td>L4</td><td>L2</td><td>L3</td></tr></table>	L1	L4	L2	L3	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
L1	L3	L4	L2										
L1	L4	L2	L3										
5.	<table border="1"><tr><td>L1</td><td>L4</td><td>L2</td><td>L3</td></tr></table>	L1	L4	L2	L3	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	11	<table border="1"><tr><td>L3</td><td>L1</td><td>L2</td><td>L4</td></tr></table>	L3	L1	L2	L4	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
L1	L4	L2	L3										
L3	L1	L2	L4										
6.	<table border="1"><tr><td>L1</td><td>L4</td><td>L3</td><td>L2</td></tr></table>	L1	L4	L3	L2	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 0,5 \\ 0,5 & 0 & 0,5 & 0 \end{bmatrix}$	12	<table border="1"><tr><td>L3</td><td>L2</td><td>L1</td><td>L4</td></tr></table>	L3	L2	L1	L4	$W = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0 & 0,5 \\ 0,5 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
L1	L4	L3	L2										
L3	L2	L1	L4										

Hasil dan Pembahasan

Penggunaan Data dan Penyelesaian

Tanpa mengurangi keumuman pembahasan masalah, dalam makalah ini, disajikan contoh kasus dengan mengambil empat jenis lahan L₁, L₂, L₃, L₄, dengan posisi saling berbanjar. Kombinasi dari keempat lahan tersebut menghasilkan 12 kemungkinan kombinasi posisi lahan. Dengan menggunakan definisi matriks bobot seragam seperti yang telah dijelaskan pada bagian Analisis Data Spasial, pada Tabel 1 dapat dilihat seluruh kemungkinan posisi lahan yang dapat dibentuk dan matriks bobot seragamnya.

Selanjutnya luas lahan, minimum area, dan maksimum area dari empat lahan disajikan dalam Tabel 2 berikut (Data ilustratif ini yang merujuk pada Peraturan Daerah Kota Bandung No. 09 Tahun 2009 (lihat [12] dan [13]) digunakan untuk menyajikan eksperimen numerik).

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas pada pembahasan dari contoh masalah ini perhatikan Gambar 2.

Untuk menyelesaikan contoh masalah di atas dengan menggunakan Metode *Branch and Bound*,

maka masalah tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\min\{Z = -z^T x, C = -Rx\};$$

sedemikian hingga

$$Ax \leq \bar{D}, Ax \geq \underline{D}, Bx = 1; x \in \{0,1\} \tag{19}$$

dimana

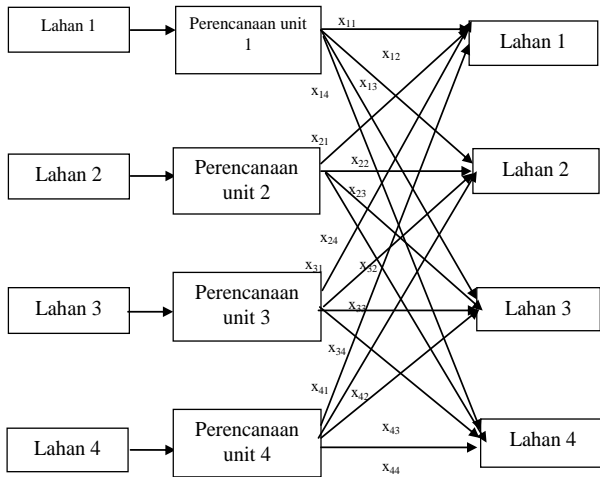
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3054 & 3054 & 0 & 0 \\ -3054 & 0 & 3054 & 0 \\ -3054 & 0 & 0 & 3054 \\ 5659 & -5659 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -5659 & 5659 & 0 \\ 0 & -5659 & 0 & 5659 \\ 5019 & 0 & -5019 & 0 \\ 0 & 5019 & -5019 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -5019 & 5019 \\ 2416 & 0 & 0 & -2416 \\ 0 & 2416 & -2416 & 0 \\ 0 & 0 & 2416 & -2416 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = [B_{11} \ B_{12} \ B_{13} \ B_{14}]$$

$$B_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tabel 2. Data ilustratif luas lahan, batas minimum, dan batas maksimum

	Luas lahan	Batas minimum	Batas maksimum
Lahan 1	3054	3053,85	3054,49
Lahan 2	5659	5658,00	5659,28
Lahan 3	5019	5018,64	5019,28
Lahan 4	2416	2415,78	2416,69



Gambar 2. Alur diagram masalah alih fungsi lahan



Gambar 3. Posisi kombinasi lahan ke-11 untuk 4 jenis tipe lahan yang berbeda.

$$B_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B_{14} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} 3054,49 \\ 5659,28 \\ 5019,28 \\ 2416,69 \end{bmatrix}; \underline{D} = \begin{bmatrix} 3053,85 \\ 5658,00 \\ 5018,64 \\ 2415,78 \end{bmatrix}$$

Dari 12 kombinasi lahan yang mungkin untuk empat jenis tipe penggunaan lahan (lihat Tabel 1), berikut disajikan hasil perhitungan indeks komprehensif z dan indeks kepadatan R untuk kasus dimana empat jenis tipe penggunaan lahan ini diposisikan secara berbanjar seperti terlihat pada Gambar 3.

Dengan posisi pada Gambar 3. maka dapat dilihat dari Tabel 1 (lihat kombinasi lahan ke-11), matriks bobot spasial yang diperoleh seperti yang disajikan pada persamaan (21). Hal ini diperoleh dengan memperhatikan posisi dua lahan yang tetangga. Pada contoh kombinasi lahan 1 ini, dapat dilihat bahwa L_1 bertetangga dengan 2 tipe lahan lainnya yaitu L_2 dan L_3 . Demikian pula L_2 bertetangga dengan L_1 dan L_4 . Sementara L_3 dan L_4 hanya

bertetangga dengan satu tipe lahan lainnya, yaitu L_1 dan L_2 secara berurutan, sehingga diperoleh matriks bobot spasial (20).

$$W_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Penentuan indeks komprehensif z_{11} dan indeks kepadatan R_{11} dapat diperoleh berdasarkan matriks bobot spasial W_{11} . Perhatikan bahwa sebagaimana telah dinyatakan dalam (17), z_{11} untuk kombinasi lahan 11 ini adalah:

$$z_{11}^T = [z_{111} \quad z_{112} \quad z_{113} \quad z_{114}]$$

$$z_{111} = [0 \quad 0,5 \quad 0,5 \quad 0]; z_{112} = [0,5 \quad 0 \quad 0 \quad 0,5]$$

$$z_{113} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]; z_{114} = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \quad (21)$$

dan dengan menggunakan persamaan (18) diperoleh indeks komprehensif yang dinyatakan dalam matriks R_{11} berordo 16×4 dimana tiap barisnya menyatakan kemungkinan perubahan *current land use i* menjadi *future land use k*, dan tiap kolom menyatakan *future land use k*. Untuk kombinasi lahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4, diperoleh R_{11} seperti dapat dilihat pada persamaan (22).

$$R_{11}^T = [R_{111} \quad R_{112} \quad R_{113} \quad R_{114}]$$

$$R_{111} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; R_{112} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 \end{bmatrix}$$

$$R_{113} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; R_{114} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Untuk seluruh 12 kombinasi tipe lahan yang disajikan pada Tabel 1, dengan cara yang sama dapat diperoleh masing-masing indeks komprehensif dan indeks kepadatan seperti yang telah dicontohkan di atas pada persamaan (21) dan (22).

Perhitungan relaksasi LP dari masalah (20) dengan menggunakan bantuan software MATLAB menunjukkan bahwa jumlah indeks kepadatan tertinggi adalah 1,5; dengan demikian kombinasi lahan yang memiliki nilai lebih rendah dari 1,5 dapat diabaikan dalam perhitungan. Selanjutnya karena hasil perhitungan dari relaksasi LP ini belum memberikan solusi dengan bilangan 0 atau 1, maka perhitungan selanjutnya menggunakan Metode *Branch and Bound*.

Sebagai contoh perhitungan, hasil perhitungan untuk kombinasi lahan ke-11 di atas, hasil perhitungan

relaksasi LPnya memberikan 2 kemungkinan solusi optimal dengan nilai R_{11} sebesar 1,5 pada Gambar 4a dan 4b disajikan diagram pohon pencarian solusi integer dengan menggunakan Metode Branch and Bound. Pada perhitungan ini kriteria Branching ditentukan dengan mengambil solusi non biner yang ditemukan terdahulu untuk diset nilainya menjadi 0 dan 1. Bila masih ditemukan solusi yang non biner, pencarian dilanjutkan pada nilai variabel non biner selanjutnya. Kriteria pemangkasan cabang pada pohon pencarian mengikuti aturan standar pada Metode *Branch and Bound* seperti telah dijelaskan pada subbab algoritma pencarian solusi optimal.

Dapat dilihat pada Gambar 4a dan 4b, hasil perhitungan memberikan solusi optimal integer yang sama yaitu $Z^* = 3$ dan $C^* = 1,5$ dengan $x_{11}^* = (0,1,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0)$.

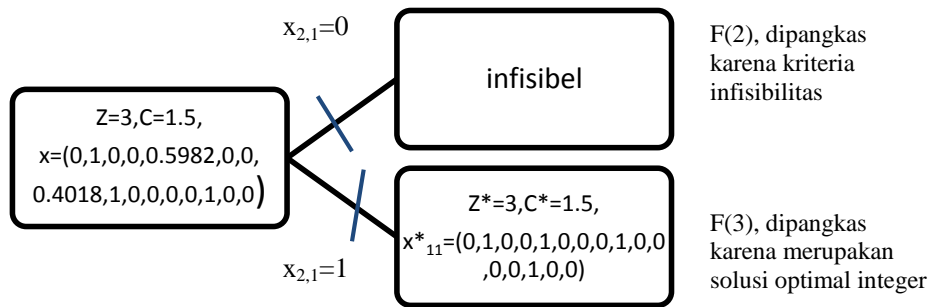
Analisis Hasil

Hasil perhitungan pada Gambar 4a dan 4b menunjukkan bahwa perencanaan unit 1 dialihfungsikan ke lahan 2, Perencanaan unit 2 dialihfungsikan ke lahan 1, perencanaan unit 3 dialihfungsikan ke lahan 1, dan perencanaan unit 4 dialihfungsikan ke lahan 2. Total indeks kepadatan yang dihasilkan sebesar 1,5. Hal ini berarti bahwa total indeks kepadatan menghasilkan nilai indeks kepadatan untuk setiap jenis lahan yang menjadi tujuan

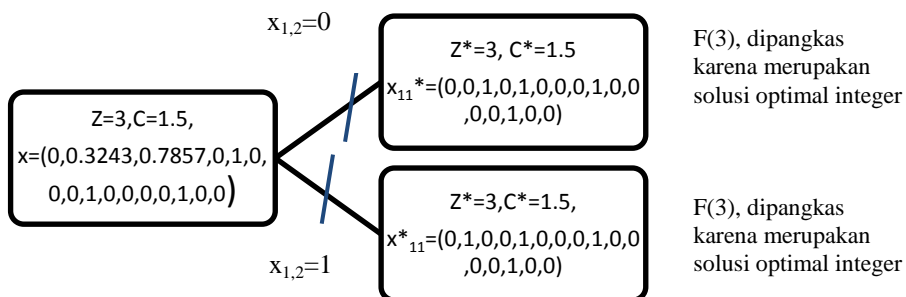
pengalihfungsian. Dalam contoh masalah ini tujuan pengalihfungsian adalah lahan 1 dan lahan 2.

Sehingga dapat diringkas bahwa hasil perhitungan dengan menggunakan pendekatan model optimisasi multiobjektif dan *Metode Branch And Bound* ini adalah untuk lahan 1, terjadi pengalihfungsian dari lahan 2 dan lahan 3. Tingkat korelasi lahan 2 ke lahan 1 pada kombinasi lahan 11 adalah 0,5. Hal ini berarti jika lahan 2 dialihfungsikan menjadi lahan 1, maka indeks kepadatannya sebesar 50%. Tingkat korelasi lahan 3 ke lahan 1 adalah 1. Hal ini berarti jika lahan 3 dialihfungsikan ke lahan 1, indeks kepadatannya sebesar 100%, sehingga total indeks kepadatannya menjadi 150%. Untuk lahan 2, terjadi pengalihfungsian dari lahan 1 dan lahan 4. Tingkat korelasi lahan 1 ke lahan 2 pada posisi lahan 11 adalah 0,5. Hal ini berarti jika lahan 2 dialihfungsikan menjadi lahan 1, maka indeks kepadatannya sebesar 50%, sedangkan tingkat korelasi lahan 4 ke lahan 2 adalah 1. Hal ini berarti jika lahan 4 dialihfungsikan ke lahan 2, indeks kepadatannya sebesar 100%. Total indeks kepadatannya menjadi 150%.

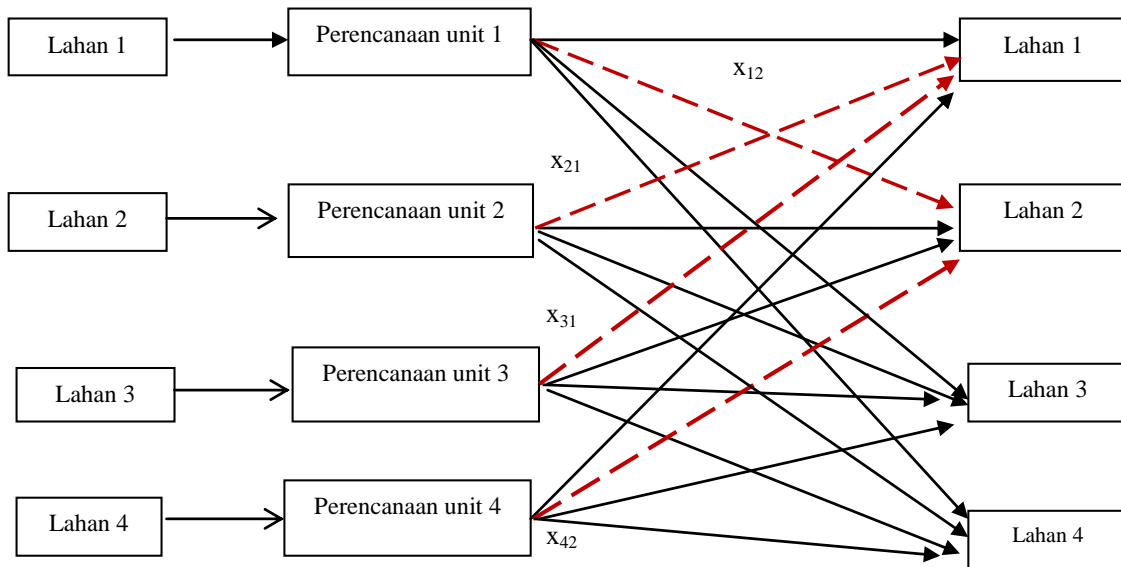
Dapat dilihat pula bahwa fungsi kendala dari masalah (16) terpenuhi dimana batasan untuk setiap perencanaan unit ke- i hanya diijinkan untuk berubah menjadi satu tipe lahan di masa yang akan datang. Untuk lebih jelas perhatikan Gambar 5.



Gambar 4a. S-tree untuk masalah APL pada kombinasi 11, alternatif 1



Gambar 4b. S-tree untuk masalah APL pada kombinasi 11, alternatif 2.



Gambar 5. Alur Diagram alih fungsi lahan dari hasil pengolahan data

Simpulan

Dari pembahasan pada makalah ini dapat disimpulkan bahwa Model Optimisasi APL dengan menggunakan pendekatan Optimisasi Multiobjektif dan generasi Data Spasial melalui pembangkitan matriks bobot seragam dapat dipertimbangkan sebagai suatu alternative pengambilan keputusan yang optimal dalam masalah Alokasi Penggunaan lahan. Sebagai saran untuk pengembangan selanjutnya disarankan bahwa penentuan bobot spasial untuk model APL dapat dengan menggunakan metode lain, misalnya model transportasi. Fungsi objektif untuk model APL yang diformulasikan sebagai *multiobjective function* dapat diselesaikan dengan menggunakan metode optimisasi multiobjektif lainnya selain Metode *Lexicographic*, seperti *Utility Function Method*, *Global Criteria Method* (Lihat Marler *et al.* [5]).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan penelitian mandiri yang didukung oleh Dana Bantuan Penelitian Mandiri Jurusan Matematika FMIPA Universitas Padjadjaran Tahun Anggaran 2011.

Daftar Pustaka

1. Bennet, R. J., *Spatial Time Series*, Pion Ltd., London, 1979.
2. Besag, J., Spatial Interaction and the Statistical Analysis of Lattice Systems, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 36, 1974, pp. 192-236.
3. Issermann, H., Linear Lexicographic Optimization, *OR-Spectrum* 4, 1982, pp. 223-228.

4. Li, X., Chen, Y., and Daoliang, L., A Spatial Decision Support System for Land-Use Structure Optimization, *China: WSEAS Transaction on Computer*, 8, 2009, pp. 436-448.
5. Marler, R. T., and Arora, J. S., Survey of Multi-objective Optimization Methods for Engineerings, *Struct Multidisc Optimization* 26, 2004, pp. 369-395.
6. Mitten, L. G., Branch and Bound Methods: General Formulations and Properties, *Operations Research*, published by INFORMS, 18(1), Jan-Feb 1970, pp. 24-34.
7. Stewart, T. J., Janssen, R., and Herwijnen, M. van., A Genetic Algorithm Approach to Multi-objective Land Use Planning, *Netherland: Computer & Operations Research*, 2293-2313, 2004.
8. Suprpto, A., *Tutorial untuk Sistem Informasi Geografis (SIG)*, online: <http://ilmukomputer.com>, diakses 3 Juli 2010.
9. Verbug, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldom, V., and Mastura, S. S. A., Modelling the Spatial Dynamics of Regional Land use: The CLUE-S Model, *Environmental Management*, 30(3), 2002, pp. 391-405.
10. Warlina, *Model Perubahan Penggunaan Lahan untuk Penataan Ruang dalam Kerangka Pembangunan Wilayah Berkelanjutan (Studi Kasus Kabupaten Bandung)*, Disertasi tidak diterbitkan, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2007.
11. Zielinska, A. L., Church, R. L., and Jankowski, P., Spatial Optimization as a Generative Technique for Sustainable Multiobjective Land Use Allocation, *United States of America: International Journal of Geographical Information Science*, 22, 2008, pp. 601-622.

12. UU RI No. 26 Tahun 2007, www.pu.go.id/satminkal/itjen/hukum/uu26-07.pdf, tanggal akses 15 Oktober 2011.
13. Peraturan Daerah Kota Bandung No 9 Tahun 2009, www.bandung.go.id/images/.../Perda_No_09_tahun_2009.pdf, tanggal akses 15 Oktober 2011.