

Operator Morpho-Hidrologi pada DEM (*Digital Elevation Model*) dan Peta Digital untuk Pemetaan Awal Potensi PLTA dan PLTMH (Studi Kasus DAS Mamberamo)

The Morpho-Hydrology Operator with DEM (*Digital Elevation Model*) and Digital Map for The Initial Mapping of The Potentials of Water Electric Generation Plant and Hydro Micro Power Electric Generation Plant (a Case Study of Mamberamo Water Shed)

Dedi Cahyadi¹, Alexander Tunggul Sutanahaji²

¹Mahasiswa Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 65145

²Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 65145

Email korespondensi: alexandersutan@ub.ac.id

Abstrak

Energi air yang dibangkitkan dari PLTA atau PLTMH merupakan energi terbarukan yang mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan energi terbarukan yang lain. Indonesia yang memiliki lebih dari 5000 DAS dengan curah hujan yang tinggi dan topografi berbukit sampai bergunung mempunyai potensi energi ini sangat berlimpah, karena potensi energi ini dipengaruhi oleh besar dan kontinuitas aliran air permukaan, dan adanya beda tinggi untuk terjunan aliran air tersebut. Sangat disayangkan potensi energi yang berlimpah ini baru sebagian kecil yang telah dimanfaatkan dan dibiarkan hilang dan bahkan merugikan manusia berupa daya rusak air dan menjadi bencana banjir atau tanah longsor. Untuk dapat mengetahui besarnya potensi sebaran energi air secara spasial, serta pemanfaatan secara optimal dan adanya usaha-usaha pelestariannya perlu adanya pengelolaan Sumber Daya Energi ini dengan baik. Piranti lunak yang berupa algoritma-algoritma atau fungsi-fungsi diperlukan untuk analisis potensi energi air dengan menghitung besar aliran, menentukan potensi tampungan dan tinggi terjunan pada suatu lokasi tertentu. Operator-operator yang harus disiapkan untuk analisis potensi energi air ini meliputi: 1) penentuan daerah aliran sungai dengan data masukan titik outlet; 2) penentuan potensi waduk atau tampungan (*storage*); dan 3) perkiraan beda tinggi yang dapat digunakan untuk jatuhnya air pada pipa pesat. Ketiga operator utama ini akan dapat memberikan informasi untuk dianalisis lebih lanjut dalam suatu model matematik untuk mendapatkan potensi energi air dalam bentuk energi listrik. Setelah mengidentifikasi dan menganalisa parameter-parameter yang dibutuhkan, maka dilanjutkan pada tahap terakhir yaitu uji coba dan penerapan operator untuk pemetaan potensi energi air di DAS Mamberamo. Penerapan di SubDAS Mamberamo-Vanderwall dengan peta RBI skala 1:50.000 terdapat 6 potensi lokasi PLTA dengan tenaga listrik berkisar 11 s/d 78 MWatt dan total 217 MWatt.

Kata Kunci: *Operator Morpho-Hidrologi, DEM dan Peta digital, Energi air di DAS Mamberamo*

Abstract

Water energy generated from Water Electric and Hydro Micro Power Plant refers to one kind of renewed energy with many excesses compared to other renewed energy. Indonesia has more than 5000 river basins with high rainfall and mountainous topography. Its energy potentials are very abundant because the energy potentials are influenced by the rate and continuity of surface water, and the high or low of water stream fall. Software, including algorithms or functions to analyze the water energy potential and to calculate the flow rate, will be used to determine the potential of reservoir and the high of the fall at certain location. Operators of this software shall be prepared for the analysis of water energy potential such as (1) the determination of river region with outlet point input data; (2) the determination of the potentials of reservoir or storage; and (3) the estimation of high differential to be used for water fall in the accelerated pipe. These three kinds of operator will provide information for further analysis in a

mathematic model to obtain the water energy potential in a form of electric analysis. After the identification and the analysis of parameters required, the final stage is followed that is experiment and operator for the mapping of water energy potentials at Mamberamo River Basin. The application of Mamberamo-Vanderwall Sub-River Basin through RBI Map with the scale 1:50,000 shall be produced 6 potential Water Electric Generation Plant sites with electric power for 11 to 78 MWatt, or total of 217 MWatt.

Keywords: The Morpho-Hydrology Operator, Digital Elevation Model, Digital Map, Water Energy of Mamberamo River Basin

PENDAHULUAN

Melambungnya harga bahan bakar minyak (BBM) saat ini telah menyadarkan masyarakat tentang perlunya mencari sumber energi alternatif yang dapat terbarukan, murah dan ramah lingkungan. Sumber energi air mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Sumber energi ini merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi ketika dikonversi menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi air dapat dikelola secara fleksibel dalam skala besar sebagai PLTA maupun mikro sebagai PLTMH sesuai dengan potensi yang tersedia dan masyarakat pemakainya (*user*), dapat dikelola terpadu dengan program lain seperti irigasi, pengendalian banjir atau pariwisata, dan biaya pengoperasian relatif murah.

Besarnya potensi energi air pada suatu daerah tertentu tergantung dari seberapa besar aliran air kontinu dan seberapa ketinggian jatuh (*head*) aliran air itu. Indonesia memiliki 5.950 Daerah Aliran Sungai (DAS) ukuran sedang sampai besar yang bercurah hujan tinggi dan topografi berbukit sampai bergunung. Kondisi DAS seperti ini berpotensi menjadi sumber energi air yang besar karena DAS seperti ini sudah pasti mempunyai aliran air permukaan yang besar, potensi tampungan (*storage*) yang banyak dan terjunan yang banyak dan tinggi.

Teknologi Sistem Informasi Geografi yang mengandalkan komputer terus berkembang sejalan dengan berkembangnya teknologi komputer pada saat ini. Pemakaian SIG untuk pengadaan peta digital di Indonesia sudah sangat meluas, walaupun belum diikuti pemanfaatan peta-peta tersebut untuk keperluan pemodelan lingkungan khususnya pemodelan hidrologi. Perkembangan teknologi Sistem Informasi

Geografis (SIG) dan Model Permukaan Digital (Digital Terrain Model - DTM atau sering juga disebut Digital Elevation Model - DEM) saat ini sesungguhnya telah memungkinkan untuk melakukan pengamatan fenomena alam di permukaan bumi melalui pemodelan spasial.

"Operator Morpho-Hidrologi" merupakan pengembangan lanjut dari teknologi filter yang dikenal pada image processing dalam teknik remote sensing. Berbeda dengan filter yang hanya bekerja pada citra dua dimensi, operator morfologi bekerja pada DTM dan digital map yang bersifat tiga dimensi (Anhar, 2009). Masih sedikit peneliti di dunia internasional apalagi di Indonesia yang menekuni masalah ini. Bahkan di Indonesia sendiri, teknologi DTM dan Digital Map saja masih sangat jarang dijadikan bahan kajian.

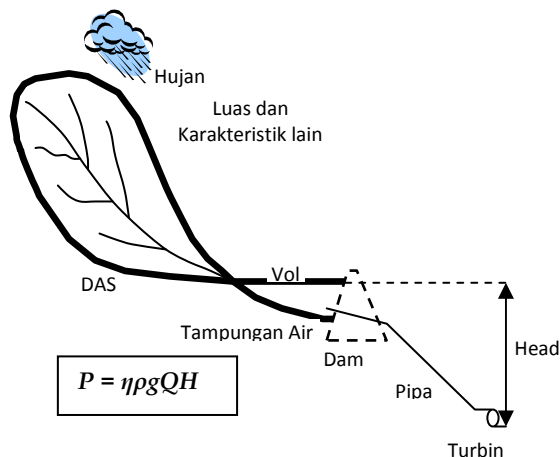
METODE PENELITIAN

Alat dan bahan alat yang digunakan adalah PC (*Personal Computer*). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: (1.) Input data, meliputi peta kontur DAS Mamberamo, peta batas DAS Mamberamo, peta jaringan sungai WS Mamberamo-Tami-Apauvar, data curah hujan tahunan wilayah Mamberamo dari laporan AMDAL. (2.) Software yang digunakan meliputi ArcView 3.3 ESRI sebagai software GIS, Microsoft Visual Basic 6.0 sebagai software dasar pembacaan algoritma, Software SIMODAS untuk pemodelan hidrologi.

Data yang digunakan dalam penelitian terdiri dari dua macam, yaitu: 1. Data spasial meliputi peta kontur Pulau Irian, peta batas DAS WS Mamberamo-Tami-Apauvar, peta jaringan sungai Mamberamo. 2. Data atribut adalah data curah hujan tahunan wilayah Mamberamo yang didapatkan dari laporan PSDA-Departemen PU, besarnya

curah hujan yang didapatkan dari referensi Laporan PSDA di DAS Mamberamo sekitar 1900 mm/tahun. Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis spasial dan hidrograf banjir. Penelitian menggunakan satu lokasi sub-DAS di wilayah WS Mamberamo-Tami-Apauvar, yaitu Sub-DAS Vanderwal, dengan estimasi 6 titik outlet sebagai titik outlet yang akan diidentifikasi potensi energinya.

Secara teknis energi listrik yang dapat dihasilkan suatu generator pembangkit listrik tergantung dari adanya aliran air dengan debit dan *head* air yang menggerakkan turbin air. Oleh karena itu besar potensi energi air sangat dipengaruhi oleh besar sumber daya air terutama air permukaan yang tersedia dan mengalir secara kontinu. Model konseptual potensi sumber energi dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan uraian di atas, potensi energi air dapat dipengaruhi oleh tiga peubah utama, yaitu besarnya potensi permukaan, potensi tampungan dan potensi jatuhnya (*head*).



Gambar 1. Model Konseptual Energi

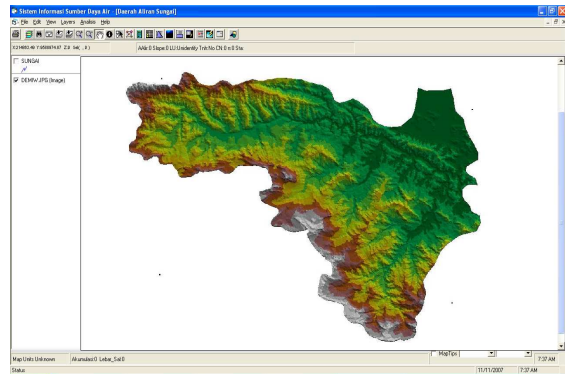
HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk pemahaman dari algoritma dan operator yang dikembangkan, pada tulisan ini akan dibahas penerapannya untuk DAS Mamberamo-Sub DAS Vanderwall (Gambar 3). DEM didapatkan dari interpolasi titik-titik tinggi teratur (100 m x 100 m) dan garis-garis struktur (*breaklines dan riverlines*) yang diambil dari Peta Digital Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional) skala 1 : 25 000.

Gambar 2. adalah hasil running dari Program SIMODAS untuk satu dari 6 lokasi bendungan. Pemilihan lokasi bendungan ini dilakukan dengan memperhitungkan kondisi fisik daerah lokasi sehingga didapat panjang bendungan yang minimal dengan jumlah volume tampungan waduk yang maksimal.

Setelah dilakukan manipulasi, koreksi dan ekstraksi pada DEM DAS Mamberamo-Sub DAS Vanderwall, maka didapatkan potensi tampungan setelah dibendung (Gambar 3), hasil visualisasi ini akan digunakan untuk pemodelan hidrologi dan pemetaan potensi energi listrik.

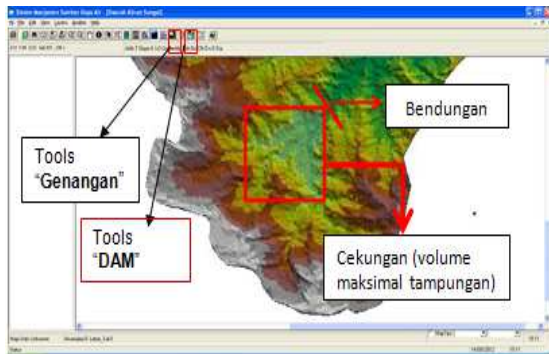
Tools "DAM" pada program SIMODAS dipilih untuk digunakan sebagai simulasi pembuatan bendung pada titik tertentu yang potensial sehingga bendung dapat menahan air dengan optimal sehingga mampu dimanfaatkan sebagai bendungan yang kemudian akan dipergunakan untuk keperluan pembangunan PLTA. Untuk garis berbentuk kotak berwarna merah merupakan potensi cekungan jika bendung dibangun di garis berwarna merah. Potensi cekungan akan ditampilkan setelah *tools "Genangan"* dipilih, maka secara otomatis wilayah yang lebih rendah akan tergenang oleh air dan mampu diperkirakan potensinya.



Gambar 2. Lokasi Studi dan Peta Sub-DAS Vanderwall

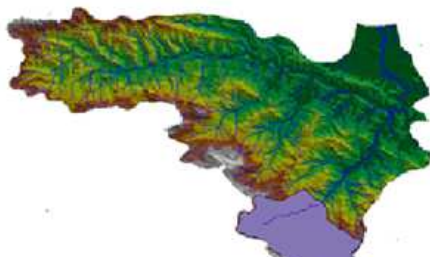
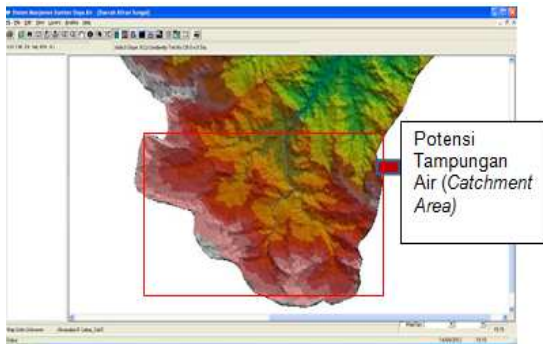
Berkaitan dengan operator yang telah dikembangkan, maka pemberian event *mouse down* pada tayangan peta digital dan DTM akan mampu mengidentifikasi titik outlet pada titik yang dipilih dan kemudian teridentifikasi pula DTA (Daerah Tangkapan Air) beserta propertas dan karakteristiknya. Ilustrasi tayangan DTA, propertas dan

karakteristiknya dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 6.

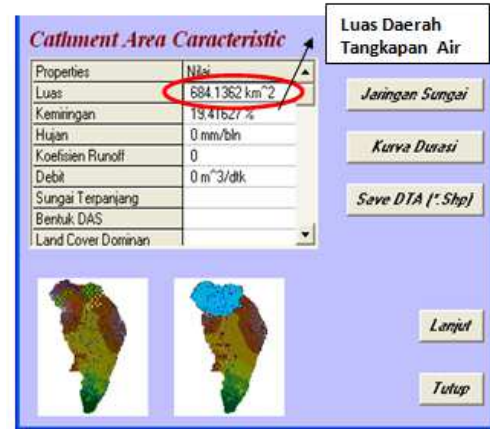


Gambar 3. Bendungan dan Potensi Genangan

Untuk karakteristik daerah tampungan didapatkan dengan cara mengidentifikasi jaringan sungai terlebih dahulu. Kemudian titik outlet dari daerah tampungan ditentukan (Gambar 5). Hasil identifikasi ditayangkan pada *display* (*Catchment Area Characteristic*) dan akan didapatkan informasi mengenai luas DAS dan kemiringannya sebesar 684 Km² dan 19% (Gambar 6).



Gambar 5. Batas Sub-DAS Vanderwall 1 dan Pola Jaringan Sungai

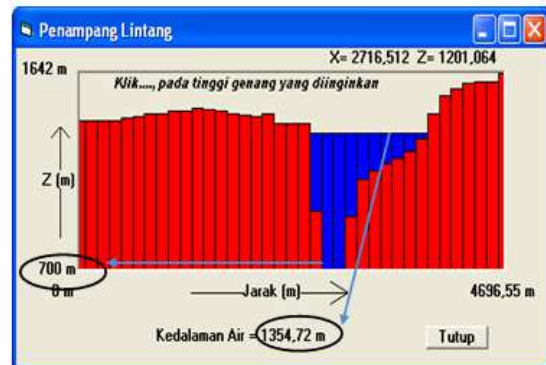


Gambar 6. Karakteristik Sub-DAS Vanderwall

Luas yang didapatkan dari *Catchment Area Characteristic* ini dipergunakan untuk mencari volume tampungan (desain) dengan cara perhitungan Luasan CA (*Catchment Area*) dengan curah hujan yang ada di area DAS Mamberamo.

Setelah bendungan dan tampungan tervisualisasikan di SIMODAS, selanjutnya dapat dilakukan identifikasi penampang melintang yang ditampilkan pada Gambar 7. untuk mengetahui tinggi (kedalaman) dan volume genangan maksimal yang ditampilkan pada Gambar 9.

Display penampang melintang dimensi cekungan dan estimasi volume atau tinggi genang (kedalaman) yang diinginkan untuk dijadikan sebagai bahan pertimbangan pembuatan bendungan dan memperkirakan panjangnya pengaliran ke turbin.

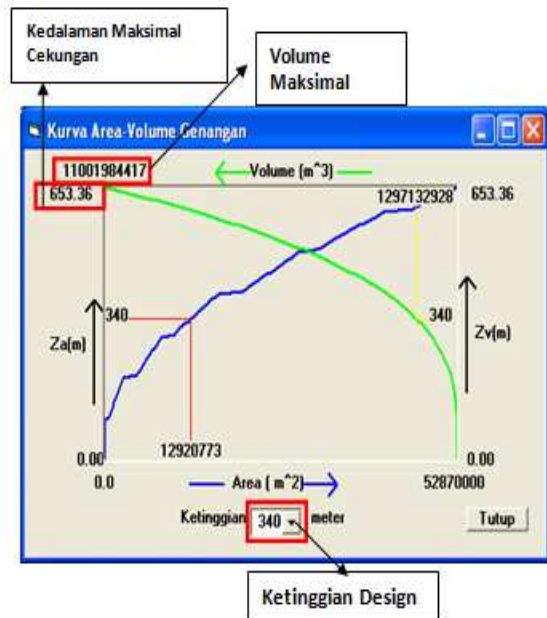


Gambar 7. Penampang Melintang Bendungan

Kedalaman yang mampu dibaca pada Gambar 7. bernilai sekitar 654 m (dari hasil 1354,72 – 700 m). Nilai 654 m merupakan kedalaman maksimal yang ditentukan pada

awal jalannya program SIMODAS dengan bantuan tools "DAM" dan "Penampang Melintang". Pada proses penentuan tinggi/kedalaman desain tidak selalu menggunakan tinggi yang didapatkan dari penampang melintang, tapi lebih setelah membandingkan kedalaman maksimal dengan kedalaman yang nantinya disesuaikan dengan volume tampungan yang ideal untuk kebutuhan PLTA.

Sementara pada gambar 8. diketahui bahwa volume maksimal yang bisa ditampung adalah $1,1 \times 10^{10} \text{ m}^3$ pada ketinggian 653 meter. Pada langkah selanjutnya adalah penentuan potensi volume tampungan desain dengan membandingkan antara volume genangan maksimal yang didapatkan dari identifikasi topografi dan tinggi bendung dari *display* penampang melintang dengan mempertimbangkan perhitungan luas DAS dengan curah hujan daerah sekitar (sebesar 1900mm). Perbandingan efektivitas desain bendung ini dihasilkan bahwa hasil dari perhitungan luas DAS dengan curah hujan daerah sekitar memiliki hasil volume desain sebesar $(1,3 \times 10^9)$. Volume tampungan sebesar $1,3 \times 10^9$ inilah yang diambil sebagai volume desain dengan estimasi tinggi desain 340 meter.



Gambar 8. Kurva Area-Volume Genangan

Adapun perhitungan energi listrik dari PLTA 1 adalah sebagai berikut:

$$Q = c.I.A$$

Diketahui dari proses identifikasi SIMODAS, Volume maksimal tampungan = $1,1 \times 10^{10} \text{ m}^3$ pada kedalaman = 654 m, Daerah tangkapan air (CA) = $6,84 \times 10^8 \text{ m}^2$.

$$Q = 0,35 \times 1,9 \text{ m} \times (6,84 \times 10^8) \text{ m}^2$$

$$Q = 4,5 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ (dalam tahun)}$$

Untuk langkah selanjutnya adalah menentukan volume desain. Volume desain ditentukan dengan membandingkan volume maksimal tampungan dengan volume per tahun. Hasil perhitungan terkecil digunakan sebagai volume desain. Maka, pada kasus PLTA 1 volume desainnya sebesar $4,5 \times 10^8 \text{ m}^3$.

$$Q(t) = Q/t$$

$$Q = 4,5 \times 10^8 \text{ m}^3 / (365 \times 24 \times 3600) \text{ s}$$

$$Q = 14,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pada tahap perhitungan daya/power listrik yang dihasilkan ada beberapa nilai yang ditentukan terlebih dahulu, $H(\text{head loses})$ ditentukan dengan memperhatikan kontur permukaan. Nilai H pada PLTA 1 = 450 m, $\eta = 75\%$, $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$P = \eta \rho g Q H$$

$$P = 0,75 \times 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 14,3 \text{ m}^3/\text{s} \times 450 \text{ m}$$

$$P = 4,8 \times 10^7 \text{ Watt}$$

Jadi daya yang dihasilkan dari PLTA 1 adalah $4,8 \times 10^7 \text{ Watt}$.

Berikut disajikan tabel rekapitulasi data hasil perhitungan potensi energi dari 6 PLTA yang teridentifikasi di Sub DAS Vanderwall-WS Mamberamo.

Tabel 1. Potensi Energi Listrik (6 titik outlet di Sub-DAS Vanderwall)

Titik Potensi	Daerah Tangkapan Air (km ²)	Volume Waduk (juta m ³)	Debit (m ³ /s)	Head Losses (m)	Daya (MW)
PLTA 1	684	450	14,4	450	48
PLTA 2	1414	940	29,8	158	35
PLTA 3	653	430	13,8	110	11
PLTA 4	448	300	9,4	350	24
PLTA 5	1730	1100	36,4	290	78
PLTA 6	946	630	19,9	140	21
Total (P)					217

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut : (a) Algoritma-algoritma yang sering digunakan untuk mengekstraksi DTM menjadi kemiringan, arah aliran dan jaringan sungai serta peng-orderannya dan fungsi-fungsi hidrologi dapat dikemas sebagai operator morfo-hidrologi yang secara otomatis dapat menghasilkan dan menampilkan propertias dan karakteristik DTA berdasarkan titik *outlet* yang dipilih. (b) Operator morfo-hidrologi yang dikembangkan dapat memberikan informasi potensi energi listrik dari Sub DAS Vanderwal (WS Mamberamo) dengan *range* potensi energi listrik di 6 PLTA mulai 11 MWatt - 78 MWatt dengan total energi sebesar 217 MWatt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Universitas Brawijaya atas bantuan berbagai fasilitas. Penulis juga berterimakasih kepada Dr. Ir. Alexander Sutan Haji, MT. dan Dr. Ir. Ruslan Wirosedarmo, MS. sebagai pembimbing di Jurusan Keteknikan Pertanian (Laboratorium Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan), atas bimbingan dan tinjauan ulang pada penulisan jurnal ini sehingga dapat menjadi lebih baik dan bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, F. 2000. Operator morfologi pada DTM dan peta digital untuk pemetaan awal posisi-posisi optimal mikro-hidro. Bakosurtanal, Bogor.
- Engel, B.A., R. Srinivasan, dan C. Rewerts. 1993. *A spatial decision support system for modeling and managing agricultural nonpoint source pollution*. dalam *Environmental Modeling with GIS*, edited by M.F. Goodchild, 231-237. New York: Oxford University Pres.