

MODEL PENGELOLAAN AIR TANAH BERKELANJUTAN DI KOTA KENDARI

SURYA CIPTA RAMADHAN KETE



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Model Pengelolaan Air Tanah Berkelanjutan di Kota Kendari” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Maret 2021

Surya Cipta Ramadhan Kete
NIM P062160061



RINGKASAN

SURYA CIPTA RAMADHAN KETE. Model Pengelolaan Air Tanah Berkelanjutan di Kota Kendari. Dibimbing oleh SUPRIHATIN, SURIA DARMA TARIGAN dan HEFNI EFFENDI.

Kota Kendari merupakan sebuah kota pesisir dan sekaligus menjadi ibu kota provinsi Sulawesi Tenggara. Kedudukan wilayah sebagai ibu kota menyebabkan pesatnya pertumbuhan penduduk dan perkembangan wilayah. Dalam rangka mewujudkan kota Kendari sebagai *Water Sensitivity City* (WSC), maka perlu menggali potensi sumber daya air alternatif selain air tanah yang selama ini digunakan untuk berbagai kebutuhan antar sektor di wilayah ini.

Penelitian ini bertujuan mendesain model pengelolaan air tanah secara berkelanjutan di kota Kendari. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka diperlukan beberapa kajian yaitu: (1) analisis karakteristik hidrogeokimia dan potensi air tanah; (2) penilaian risiko dan kerentanan air tanah; (3) analisis tingkat keberlanjutan air tanah, dan; (4) mengidentifikasi sumberdaya air alternatif untuk keberlanjutan air tanah (5) mendesain model pengelolaan air tanah berkelanjutan. Metode karakteristik hidrogeokimia dan potensi air tanah dilakukan dengan menggunakan diagram piper, diagram scholler, diagram durov dengan software AqQA (Rock ware) versi trial dan analisis regresi, dan debit air tanah dihitung dengan prinsip hukum Darcy dan prinsip imbuhan air tanah, sedangkan kualitas air tanah diketahui dengan indeks pencemaran dan CCME WQI. Penilaian risiko dan kerentanan air tanah menggunakan indeks GALDIT dan DRASTIC+Ri. Analisis tingkat keberlanjutan air tanah menggunakan metode multidimensi scalling (MDS) Rapfish+ versi R. Analisis sumberdaya alternatif menggunakan metode rasional dan Model pengelolaan air tanah menggunakan sistem dinamik.

Hasil analisis menunjukkan bahwa hidrogeokimia air tanah didominasi oleh *mixed* CaNaHCO_3 (47.5%) > NaCl (30%) > CaHCO_3 (22.5%) dengan proses mekanisme pembentukannya dipengaruhi oleh faktor pelapukan mineral batuan, penguapan dan presipitasi pada setiap satuan geomorfolog, sedangkan ketersediaan dan *safety yield* air tanah sebesar 40 426 945 m³/tahun dan 20 213 472 m³/tahun dengan nilai indeks CCME WQI sebesar 59.76% (kurang baik) untuk dikonsumsi. Indeks GALDIT modifikasi menunjukkan sebesar 80.46% rentan rendah, rentan sedang (14.84%), rentan tinggi (2.10%) dan tidak rentan terhadap intrusi laut sebesar 2.60%. Indeks DRASTICRi modifikasi sebesar 76.95% risiko kerentanan sedang, risiko kerentanan tinggi dan rendah masing-masing sebesar 22.99% dan 0.06%. kerentanan intrusi air laut dipengaruhi faktor geohidrologi dan jebakan air asin masa lampau akibat reklamasi lahan dan perembesan *influence* yang masuk akibat banjir rob, sedangkan indeks DRASTICRi dipengaruhi oleh sumber polutan yang divisualisasikan dengan penggunaan lahan, kedalaman muka air tanah (MAT) dan geohidrologi.

Status keberlanjutan air tanah terbagi ke dalam *good* dan *bad*. Dimensi ekologi terkategori *good* (50.81%), dimensi ekonomi (34.47%), dimensi sosial (44.93%), dimensi teknologi (47.28%) dan dimensi kelembagaan (28.47%). Adapun yang menjadi *leverage attribute* yaitu dimensi ekologi (permukiman kumuh, intrusi air laut, risiko pencemaran air tanah dan imbuhan air tana), dimensi ekonomi (penduduk miskin, pendayagunaan Zakat, Infaq, Sedekah dan Wakaf/ ZISWAF,



dan keuntungan PDAM), dimensi sosial (Pendidikan formal dan kepuasan pelanggan PDAM), dimensi teknologi (sumur resapan, sarana sanitasi dan SPAL dan dimensi kelembagaan (realisasi pajak dan LSM/KPL).

Potensi pemanfaatan Reservoir DAM dari DAS Wanggu pada bagian hulu sebesar 2 402 958 m³/tahun dan pada bagian hilir sebesar 7 088 726 m³/tahun dengan total sebesar 9 491 684 m³/tahun. Hal ini dapat mendukung pasokan air di kota Kendari yang saat ini masih memiliki ketergantungan terhadap air tanah dan menurunnya cakupan pelayanan air PDAM.

Hasil analisis sistem dinamik, selama periode 2014-2049, kota Kendari berpotensi mengalami krisis air baku mulai periode 2026-2029 sebesar -291 467 m³/tahun. Oleh karena itu, diperlukan suatu kebijakan pengelolaan agar berkelanjutan dengan penerapan konsep WTC. Pada hasil skenario-1 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan ketersediaan air atau surplus hingga mencapai 118 642 m³/tahun periode 2034-2037, sedangkan skenario-2 dapat surplus hingga akhir simulasi sebesar 3 785 665 m³/tahun. Dengan demikian maka perlu adanya rekomendasi kebijakan Gerakan hemat air multisector, konservasi air tanah, reservoir DAM, dan pengembangan sistem IPAL terintegrasi dengan sarana dan prasarana di wilayah ini, serta membuka peluang kepada pemakai air untuk mengusulkan sendiri SPAL dan sistem penyediaan air baku, selain itu, mendorong PDAM sebagai pemasok air untuk meningkatkan kapasitas layanan dan SDM guna mengurangi kebocoran distribusi air maupun finansial.

Kata kunci: Air tanah, keberlanjutan, kerentanan, model dinamik, potensi



SUMMARY

SURYA CIPTA RAMADHAN KETE. Sustainable Groundwater Management Model in Kendari City. Supervised by SUPRIHATIN, SURIA DARMA TARIGAN and HEFNI EFFENDI.

Kendari City is a coastal city and also the capital city of Southeast Sulawesi province. The position of the region as the capital city causes rapid population growth and regional development. To realize the city of Kendari as Water Sensitivity City (WSC), it is necessary to explore the potential of alternative water resources besides groundwater which has been used for various needs between sectors in this region.

This study aims to build a sustainable groundwater management model in the city of Kendari. To achieve this goal, several studies are needed, namely: (1) analysis hydrogeochemical characteristics and groundwater potential; (2) groundwater risk and vulnerability assessment; (3) analysis of the level of groundwater sustainability, and; (4) identifying alternative water resources for groundwater sustainability (5) designing a sustainable groundwater management model. Methods of hydrogeochemical characteristics and groundwater potential were carried out using piper diagrams, scholler diagrams, durov diagrams with trial version AqQA (Rock ware) software and regression analysis, and groundwater discharge was calculated using Darcy's law principle and groundwater recharge principle, while groundwater quality known by the pollution index and CCME WQI. Groundwater vulnerability risk assessment using the GALDIT and DRASTIC + Ri indices. Analysis of the level of sustainability of groundwater using the multi-dimensional scaling method (MDS) Rapfish + version R.

The results of the analysis show that the hydrogeochemistry of groundwater is dominated by mixed CaNaHCO_3 (47.5%) > NaCl (30%) > CaHCO_3 (22.5%) with the formation mechanism being influenced by rock mineral weathering, evaporation, and precipitation in each geomorphological unit. while the availability and safety yield of groundwater was 40 426 945 m / year and 20 213 472 m / year with the CCME WQI index value of 59.76% (not good) for consumption. The modified GALDIT index shows that 80.46% are low susceptible, medium vulnerable (14.84%), high vulnerable (2.10%), and not susceptible to marine intrusion by 2.60%. The modified DRASTICRi index was 76.95% for moderate kerosene risk, high and low-risk vulnerability of 22.99% and 0.06%, respectively.

The status of groundwater sustainability is divided into good and bad. The ecological dimension is categorized as good (50.81%), economic dimension (34.47%), social dimension (44.93%), technology dimension (47.28%) and institutional dimension (28.47%). As for the leverage attribute, namely the ecological dimensions (slum settlements, seawater intrusion, risk of groundwater pollution, and groundwater recharge), economic dimensions (poor population, utilization of Zakat, Infaq. Alms, and Waqf/ZIAW, and PDAM benefits), social dimensions (formal education and PDAM customer satisfaction), technological dimensions (infiltration wells, sanitation facilities and SPAL and institutional dimensions (tax realization and NGO / KPL).

The potential utilization of the DAM Reservoir from the Wanggu Watershed in the upstream part is 2 402 958 m³ / year and at the downstream part is 7 088 726 m³ / year with a total of 9 491 684 m³ / year. This can support the water supply in the city of Kendari, which currently still has a dependence on groundwater and the decline in the coverage of PDAM water services.

The results of the dynamic system analysis, during the period 2014-2049, Kendari city has the potential to experience a raw water crisis starting from the period 2026-2029 of -291 467 m³ / year. Therefore, a management policy is needed to be sustainable with the application of the WTC concept. The results of a scenario-1 show that there is an increase in water availability or a surplus to reach 118 642 m³ / year for the period 2034-2037, while scenario-2 can be a surplus until the end of the simulation of 3 785 665 m³ / year. Thus, it is necessary to have policy recommendations for the multisector water-saving movement, conservation of groundwater, reservoir DAM, and development of an integrated WWTP system with facilities and infrastructure in this area, as well as opening up opportunities for water users to propose their SPAL and raw water supply system.

Keywords: Dynamic models, groundwater, potential, sustainability, vulnerability.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 20XX¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

MODEL PENGELOLAAN AIR TANAH BERKELANJUTAN DI KOTA KENDARI

SURYA CIPTA RAMADHAN KETE

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan
Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof Dr Ir Widiatmaka DAA
- 2 Dr Ir Syaiful Anwar MSc

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr Ir Syaiful Anwar MSc
- 2 Prof Dr Ir Aminuddin Mane Kandari MSi



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

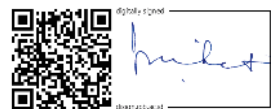
Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Model Pengelolaan Air Tanah Berkelanjutan di Kota Kendari
Nama : Surya Cipta Ramadhan Kete
NIM : P062160061

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof Dr-Ing Ir Suprihatin Dip.Eng



Pembimbing 2:
Dr Ir Suria Darma Tarigan MSc



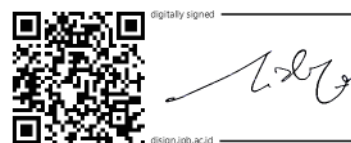
Pembimbing 3:
Prof Dr Ir Hefni Effendi MPhil



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumber daya
Alam dan Lingkungan:

Prof Dr Ir Widiatmaka DAA
NIP 196212011987031002



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof Dr Ir Anas Miftah Fauzi MEng
NIP 196004191985031002



Tanggal Ujian: 18 Maret 2021
(tanggal pelaksanaan ujian)

Tanggal Lulus: 16 April 2021
(tanggal penandatanganan oleh Dekan Sekolah
Pascasarjana)



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2018 sampai bulan Maret 2021 ini ialah disertasi, dengan judul “model pengelolaan air berkelanjutan di kota Kendari”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof Dr-Ing Ir Suprihatin Dip.Eng, Dr Ir Suria Darma Tarigan MSc dan Prof Dr Ir Hefni Effendi MPhil yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Santo dan Frans Patadungan yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kedua orangtua (Bapak Alm. Abdul La Kete dan Mama Siyfa), mertua (Bapak Alm. M. Nizam dan Ibu Azizah), Istri (Isabela, M.Sc) dan anak tercinta (Abang Rayyanka Ransi Surya Kete dan Adik Radya Castarica Surya Kete) serta seluruh kakak dan kemenakan tercinta yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Terimakasih juga disampaikan kepada Rektor IPB, Dekan Sekolah Pascasarjana IPB, Ketua dan Sekretaris Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL) IPB beserta seluruh staf (Pak Subur dan Bu herlin). Penulis mengucapkan terimakasih kepada Beasiswa LPDP melalui skema BUDI DN atas dukungan dana untuk melanjutkan studi doktor ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Maret 2021

Surya Cipta Ramadhan Kete



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Kerangka Pemikiran	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	6
1.6 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.7 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	6
II METODE	7
2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	7
2.2 Jenis dan Sumber serta Teknik Pengumpulan Data	8
2.3 Teknik Pengambilan Sampel	8
III ANALISIS KARAKTERISTIK HIDROGEOKIMIA DAN POTENSI AIR TANAH DI KOTA KENDARI	9
3.1 Pendahuluan	9
3.2 Metode Penelitian	10
3.3 Hasil dan Pembahasan	11
3.4 Simpulan	32
IV PENILAIAN RISIKO DAN KERENTANAN AIR TANAH DI KOTA KENDARI	34
4.1 Pendahuluan	34
4.2 Metode Penelitian	35
4.3 Hasil dan Pembahasan	38
4.4 Simpulan	50
V TINGKAT KEBERLANJUTAN PENGELOLAAN AIR TANAH DI KOTA KENDARI	51
5.1 Pendahuluan	51
5.2 Metode Penelitian	52
5.3 Hasil dan Pembahasan	53
5.4 Simpulan	66
VI IDENTIFIKASI SUMBERDAYA AIR ALTERNATIF UNTUK Mendukung Keberlanjutan Air Tanah	67
6.1 Pendahuluan	67
6.2 Metode Penelitian	67
6.3 Hasil dan Pembahasan	68
6.4 Simpulan	69
VII MODEL PENGELOLAAN AIR TANAH BERKELANJUTAN DI KOTA KENDARI	69
7.1 Pendahuluan	69
7.2 Metode penelitian	70



7.3	Hasil dan Pembahasan	75
7.4	Simpulan	85
VIII	PEMBAHASAN UMUM	86
8.1	Operasional Skenario	87
8.2	Rekomendasi Kebijakan	88
IX	KESIMPULAN DAN SARAN	89
9.1	Kesimpulan	89
9.2	Saran	90
	DAFTAR PUSTAKA	90
	LAMPIRAN	100
	RIWAYAT HIDUP	104

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	Matriks Prosedur Penelitian	8
2	Rerata Curah Hujan di Kota Kendari	12
3	Karakteristik Akuifer Kota Kendari	15
4	Karakteristik air tanah di kota Kendari berdasarkan diagram piper	18
5	Ketersediaan Air tanah berdasarkan Satuan Bentuklahan	24
6	Imbuhan air tanah periode 2013-2018	25
7	Ketersediaan air tanah total dan <i>safety yield</i>	26
8	Statistik deskriptif parameter fisik air tanah	26
9	Klasifikasi parameter fisik air tanah dangkal untuk air bersih	27
10	Statistik Deskriptif Parameter kimia dan mikrobiologi air tanah dalam standar baku mutu untuk kebutuhan air bersih	30
11	Indeks Pencemaran Air Tanah Metode IP di Kota Kendari	33
12	Indeks CCME WQI Air Tanah di Kota Kendari	34
13	Nilai dan Bobot Penggunaan Lahan	36
14	Statistik Indeks Variasi <i>Map Removal</i> model GALDIT	46
15	Statistik Indeks Variasi <i>Map Removal</i> model DRASTICr	46
16	Analisis sensitivitas parameter tunggal dan komparasi antara bobot teoritis dan bobot efektif model GALDIT	47
17	Analisis sensitivitas parameter tunggal dan komparasi antara bobot teoritis dan bobot efektif model DRASTICr	47
18	Nilai curah hujan harian maksimal	68
19	Estimasi Volume <i>Reservoir</i>	69
20	Analisis Kebutuhan aktor dalam konservasi air tanah sebagai air baku	71
21	Skenario Pengelolaan Air Tanah Berkelanjutan	73
22	Validasi kinerja model	75
23	Proyeksi Jumlah Penduduk, Industri dan Hotel di kota Kendari	76
24	Proyeksi Kebutuhan Air Sektor Penduduk, Fasilitas Umum, Industri dan Hotel di kota Kendari periode 2014-2049	77
25	Produksi Limbah sektor penduduk, hotel dan industri periode 2014-2049	80
26	Efektifitas Pengolahan Limbah dengan TWC dan BA di kota Kendari	80
27	Proyeksi Kebutuhan Biaya IPAL kota Kendari periode 2026-2049	81
28	Proyeksi ketersediaan air di kota Kendari periode 2014-2049	83
29	Biaya Pembuatan Sumur Resapan di Kota Kendari	84
30	Biaya kebutuhan RHL di Kota Kendari	85
31	Biaya Peningkatan Pelayanan PDAM Kota Kendari.	85

DAFTAR GAMBAR

32	Diagram Alir Penelitian	5
33	Analisis Bibliometrik <i>co-occurrence</i>	6
34	Peta Lokasi Penelitian	7
35	Pola Aliran Air Tanah	14
36	Sistem Akuifer kota Kendari	16

37	Hidrostratigrafi arah utara-selatan kota kendari	16
38	Diagram piper sampel air tanah di kota Kendari	17
39	Diagram schoeller sampel air tanah di kota Kendari	18
40	Diagram durov sampel air tanah di kota Kendari	19
41	Diagram Bar CAI-1 dan CAI-2 air tanah di Kota Kendari	19
42	Hubungan antara (a) $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ dan $\text{SO}_4^{2-}+\text{HCO}_3^-$, (b) Cl^- dan $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	20
43	Hubungan antara (a) Ca^{2+} dan Mg^{2+} ; (b) Cl^- dan $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}/\text{HCO}_3^-$	20
44	Hubungan antara (a) Ca dan HCO_3^- ; (b) Ca dan SO_4^{2-}	21
45	Hubungan (a) $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ dan Total kation; (b) Cl^- dan Na^+	22
46	Hubungan antara Na^+/Cl^- dengan DHL (Mmol/l)	22
47	Diagram Gibss (a) anion; (b) kation air tanah di kota Kendari	23
48	Input Model GALDIT	39
49	Kerentanan Air Tanah model GALDIT	40
50	Input Model DRASTIC+Ri	42
51	Kerentanan Air Tanah Model DRASTIC	45
52	Risiko dan kerentanan Air Tanah Model DRASTICRi	45
53	Perbandingan Hasil Kelas kerentanan Metode GALDI	48
54	Peta Kerentanan Metode Modifikasi GALDIT	48
55	Perbandingan Hasil Kelas kerentanan Metode DRASTICRi	49
56	Risiko dan kerentanan Metode Modifikasi DRASTICRi	49
57	Ordinasi Dimensi Keberlanjutan Ekologi	53
58	Analisis <i>Monte Carlo</i> untuk dimensi ekologi	54
59	<i>Leverage</i> dari Dimensi Ekologi	55
60	Ordinasi Dimensi Keberlanjutan Ekonomi	56
61	Analisis <i>Monte Carlo</i> untuk dimensi ekonomi	57
62	<i>Leverage</i> dari Dimensi Ekonomi	58
63	Ordinasi Dimensi Keberlanjutan Sosial	58
64	Analisis <i>Monte Carlo</i> untuk dimensi sosial	59
65	<i>Leverage</i> dari Dimensi Sosial	60
66	Ordinasi Dimensi Keberlanjutan Teknologi	61
67	Analisis <i>Monte Carlo</i> untuk dimensi teknologi	61
68	<i>Leverage</i> dari Dimensi Teknologi	62
69	Ordinasi Dimensi Keberlanjutan Kelembagaan	63
70	Analisis <i>Monte Carlo</i> untuk dimensi kelembagaan	64
71	<i>Leverage</i> dari Dimensi Kelembagaan	65
72	Diagram Radar keberlanjutan	66
73	Diagram <i>Black Box</i> Sistem Pengelolaan Air Tanah	73
74	Uji validasi kinerja model	74
75	Struktur sub model <i>demand</i> air baku	75
76	Proyeksi Kebutuhan air baku pada berbagai skenario di kota Kendari	78
77	Struktur sub model kualitas air tanah	79
78	Struktur sub model ketersediaan air	82
79	Proyeksi Ketersediaan air baku di kota Kendari	83