No. Reg: 221180000056969

LAPORAN PENELITIAN

PENDEKATAN MODEL MATEMATIKA COHORT-COMPONENT POPULATION PROJECTION DAN HYDROLOGICAL MODEL UNTUK ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN SUMBER DAYA AIR

Ketua Peneliti:

Budi Azhari, M. Pd
NIDN: 2018038003
ID Peneliti: 201803800308552

Anggota:

M Faisi Ikhwali, S.T., M.Eng.
NIDN : 2008109101
ID Peneliti : 20101117141000

Kategori Penelitian	Penelitian Terapan Dan Kajian Strategis Nasional
Bidang Ilmu Kajian	TERAPAN
Sumber Dana	DIPA UIN Ar-Raniry B. Aceh Tahun 2022

PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
OKTOBER 2022

No. Reg: 221180000056969

LAPORAN PENELITIAN

PENDEKATAN MODEL MATEMATIKA *COHORT-COMPONENT POPULATION PROJECTION* DAN *HYDROLOGICAL MODEL* UNTUK ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN SUMBER DAYA AIR

Diajukan oleh:

Budi Azhari, M. Pd
NIDN: 2018038003
ID Peneliti: 201803800308552

Anggota:
M Faisi Ikhwali, S.T., M.Eng.
NIDN : 2008109101
ID Peneliti : 20101117141000

KATEGORI PENELITIAN	**PENELITIAN TERAPAN DAN KAJIAN STRATEGIS NASIONAL**
BIDANG ILMU KAJIAN	**TERAPAN**

PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
AGUSTUS 2022

LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN LP2M UIN AR-RANIRY BANDA ACEH
TAHUN 2022

1.	a. Judul	:	Pendekatan Model Matematika *Cohort-Component Population Projection* dan *Hydrological Model* Untuk Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Sumber Daya Air
	b. Klaster	:	Penelitian Terapan dan Kajian Strategis Nasional
	c. No. Registrasi	:	221180000056969
	d. Bidang Ilmu yang diteliti	:	Terapan
2.	Peneliti/Ketua Pelaksana		
	a. Nama Lengkap	:	Budi Azhari
	b. Jenis Kelamin	:	Laki - Laki
	c. NIP*(Kosongkan bagi Non PNS)*	:	19800318 20081 1005
	d. NIDN	:	2018038003
	e. NIPN (ID Peneliti)	:	201803800308552
	f. Pangkat/Gol.	:	IIId
	g. Jabatan Fungsional	:	Lektor
	h. Fakultas/Prodi	:	Fakultas Tarbiyah dan Keguruan/Pendidikan Matematika
	i. Anggota Peneliti 1		
	Nama Lengkap	:	M. Faisi Ikhwali
	Jenis Kelamin	:	Laki-Laki
	Fakultas/Prodi	:	Fakultas Sains dan Teknologi/Teknik Lingkungan
3.	Lokasi Kegiatan	:	Indonesia
4.	Jangka Waktu Pelaksanaan	:	6 (Enam) Bulan
5.	Tahun Pelaksanaan	:	2022
6.	Jumlah Anggaran Biaya	:	Rp. 70.000.000,-
7.	Sumber Dana	:	DIPA UIN Ar-Raniry B. Aceh Tahun 2022
8.	*Output* dan *Outcome*	:	a. Laporan Penelitian; b. Publikasi Ilmiah; c. HKI

Mengetahui,
Kepala Pusat Penelitian dan Penerbitan
LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh,

Dr. Anton Widyanto, M. Ag.
NIP. 197610092002121002

Banda Aceh, 27 Oktober 2022
Pelaksana,

Budi Azhari, M.Pd.
NIDN. 2018038003

Menyetujui:
Rektor UIN Ar-Raniry Banda Aceh,

Prof. Dr. H. Mujiburrahman, M.Ag.
NIP. 197109082001121001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah Ini:

Nama	:	**Budi Azhari**
NIDN	:	2018038003
Jenis Kelamin	:	Laki - Laki
Tempat/ Tgl. Lahir	:	Seumadam, 18 Maret 1980
Alamat	:	Jln, Nirbaya II, No.43, Kelurahan Bandar Baru, Kec. Kuta Alam, Banda Aceh
Fakultas/Prodi	:	Fakultas Tarbiyah dan Keguruan/Pendidikan Matematika

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang berjudul: **"Pendekatan Model Matematika *Cohort-Component Population Projection* dan *Hydrological Model* Untuk Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Sumber Daya Air"** adalah benar-benar karya asli saya yang dihasilkan melalui kegiatan yang memenuhi kaidah dan metode ilmiah secara sistematis sesuai otonomi keilmuan dan budaya akademik serta diperoleh dari pelaksanaan penelitian pada klaster Penelitian Terapan dan Kajian Strategis Nasional yang dibiayai sepenuhnya dari DIPA UIN Ar-Raniry Banda Aceh Tahun Anggaran 2022. Apabila terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalamnya, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Banda Aceh, 09 Oktober 2022
Saya yang membuat pernyataan,
Ketua Peneliti,

Materai 10000

Budin Azhari
NIDN. 2018038003

PENDEKATAN MODEL MATEMATIKA COHORT-COMPONENT POPULATION PROJECTION DAN HYDROLOGICAL MODEL UNTUK ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN SUMBER DAYA AIR

Ketua Peneliti:
Budi Azhari, M. Pd

Anggota Peneliti:
M. Faisi Ikhwali, S.T., M.Eng.

Abstrak

Permasalahan kebutuhan dan ketersediaan air bersih menjadi isu global karena berkaitan dengan hajat hidup masyarakat diberbagai belahan dunia. Berbagai pendekatan dan disiplin keilmuan mencoba menyelesaikan masalah-masalah yang muncul berkaitan dengan kebutuhan dan ketersediaan sumber daya air. Sehingga dalam penelitian ini, berupaya memecahkan masalah kebutuhan dan ketersediaan air bersih dengan pendekatan multidisiplin ilmu antara lain disiplin ilmu matematika terapan, teknik sumber daya air, dan demografi. Penelitian ini menggunakan pendekatan model matematika yaitu cohort-component population projection dan hydrological model. Cohort-component population projection digunakan untuk memproyeksi jumlah penduduk didalam DAS Krueng Aceh untuk tahun 2030, 2040, 2050, 2060 dan 2070. Sedangkan Hidrological Model (RRI Model) dikembangkan untuk menghitung potensi sumberdaya air dalam DAS Krueng Aceh. Berdasarakan hasil penelitian ini, maka didapatkan kondisi ketersedian dan kebutuhan air dimasa yang akan datang. Hasil ini akan menjadi gambaran dasar dalam pengelolaan sumberdaya air di seluruh DAS-DAS dalam wilayah Indonesia dengan akurasi perhitungan yang lebih akurat dan tepat. Selama ini proyeksi jumlah penduduk tidak ada yang dilakukan dalam skala DAS, kebanyakan proyeksi jumlah penduduk dilakukan dalam skala batas administrasi seperti skala nasional, provinsi, dan kabupaten/kota. Faktanya keterkaitan DAS dan jumlah penduduk sangatlah berhubungan erat.

Kata Kunci: *Model Matematika; Cohort-Component Population Projection; Hydrological Model; RRI Model*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT dan salawat beriring salam penulis persembahkan kepangkuan alam Nabi Muhammad SAW, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis telah dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul **"Pendekatan Model Matematika *Cohort-Component Population Projection dan Hydrological Model* untuk Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Sumber Daya Air".**

Dalam proses penelitian dan penulisan laporan ini tentu banyak pihak yang ikut memberikan motivasi, bimbingan dan arahan. Oleh karena itu penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh;
2. Ibu Ketua LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
3. Bapak Sekretaris LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
4. Bapak Kepala Pusat Penelitian dan Penerbitan UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
5. Bapak Kasubbag LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh;

Akhirnya hanya Allah SWT yang dapat membalas amalan mereka, semoga menjadikannya sebagai amal yang baik.

Harapan penulis, semoga hasil penelitian ini bermanfaat dan menjadi salah satu amalan penulis yang diperhitungkan sebagai ilmu yang bermanfaat di dunia dan akhirat. *Amin ya Rabbal 'Alamin*.

Banda Aceh, 18 Agustus 2022

Ketua Peneliti,

Budi Azhari

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR 5
BAB I PENDAHULUAN 9
A. Latar Belakang Masalah 9
B. Rumusan Masalah 11
C. Tujuan Penelitian 11
D. Manfaat Penelitian 11
BAB II KAJIAN TEORI 12
A. Struktur Model Hidrologi (RRI) 12
B. Persamaan Model RRI 13
C. 1D Routing Model 18
D. Pertukaran Air Sungai dan Lereng 18
E. Skema Numerik 20
F. Proyeksi Penduduk 21
BAB III : METODE PENELITIAN 33
A. Alat dan Bahan Penelitian 33
B. Tempat Penelitian 33
C. Prosedur Penelitian 34
BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 36
A. Relevansi Penggunaan Model RRI di Indonesia 36
B. Sejarah Perkembangan RRI model 37
C. Penggunaan RRI Model di Indonesia 38
D. Tantangan dan Prospek Penggunaan RRI Model 42
E. Applikasi RRI Model di DAS Krueng Aceh 44
F. Ketersediaan Sumberdaya Air 50
G. Proyeksi Jumlah Penduduk 53
H. Proyeksi Kebutuhan Sumberdaya Air 73
BAB V : PENUTUP 76
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN-LAMPIRAN 82
BIODATA PENELITI 86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram skematik Model RRI 13
Gambar 2 Skema Pertukaran Air Sungai dan Lereng 19
Gambar 3 Tempat Penelitian..... 34
Gambar 4 Diagram alir penelitian..... 35
Gambar 5 Trend Penggunaan RRI model di Indonesia 38
Gambar 6 Data Topografi DEM 45
Gambar 7 Data Topografi DIR 46
Gambar 8 Data Topografi ACC 46
Gambar 9 Lokasi Sebaran Stasiun Curah Hujan..... 47
Gambar 10 Grafik Data Curah Hujan 48
Gambar 11 Stasiun debit Sungai Krueng Aceh 49
Gambar 12 Grafik Perbandingan Debit Antara Simulasi Dan Observasi 50
Gambar 13 Grafik Perbandingan Ketinggian Air 51
Gambar 14 Grafik Ketinggian Air Terhadap Debit 52
Gambar 15 Asumsi Total Fertility Rate (TFR) 57
Gambar 16 Asumsi Age Specific Fertility Rate..... 59
Gambar 17 Pergerakan AHH dalam periode 2010 s.d 2020..... 60
Gambar 18 Asumsi Angka Harapan Hidup/Life Expectancy (E_0)..... 61
Gambar 19 Tingat Bertahan Hidup Kohort..... 63
Gambar 20 Proyeksi Jumlah Penduduk Kota Banda Aceh..... 66
Gambar 21 Proyeksi Jumlah Penduduk Kabupaten Aceh Besar 67
Gambar 22 Proyeksi Jumlah Penduduk Menurut Model Komponen Kohort Skenario B..... 68
Gambar 23 Proyeksi Penduduk Menurut Kelompok Umur Kota Banda Aceh 69
Gambar 24 Proyeksi Komposisi Penduduk Menurut Kelompok Umur Kabupaten Aceh Besar 69
Gambar 25 Piramida Penduduk Banda Aceh (Perubahan struktur penduduk 10 tahunan selama 50 tahun)..... 71
Gambar 26 Piramida Penduduk Aceh Besar (Perubahan struktur penduduk 10 tahunan selama 50 tahun)..... 72

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Referensi Penggunaan RRI model di Indonesia 41
Tabel 2 Parameter Kalibrasi..... 49
Tabel 3 Skenario untuk Proyeksi Penduduk Menggunakan Metode Komponen Kohort 54
Tabel 4 Jumlah Penduduk Menurut Kolompok Umur Tahun 2020..... 55
Tabel 5 Struktur Penduduk Tahun 2020 56
Tabel 6 Interpolasi Survival Rate (SR) 61
Tabel 7 Estimasi Angka Migrasi Risen Neto 2015-2020 menurut Umur..... 64
Tabel 8 Hasil Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk 65

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Permasalah kebutuhan dan ketersediaan air bersih menjadi isu global karena berkaitan dengan hajat hidup masyarakat diberbagai belahan dunia. Berbagai pendekatan dan disiplin keilmuan mencoba menyelesaikan masalah-masalah yang muncul berkaitan dengan kebutuhan dan ketersediaan sumber daya air. Sehingga dalam penelitian ini, berupaya memecahkan masalah kebutuhan dan ketersediaan air bersih dengan pendekatan multidisiplin ilmu antara lain disiplin ilmu matematika terapan, teknik sumber daya air, dan demografi.

Pendekatan model matematika diharapkan dapat memprediksi jumlah penduduk dan kebutuhan air masyarakat yang hidup di lingkungan DAS. Salah satu pendekatan model matematika yang dapat digunakan untuk menganalisa masalah tersebut adalah *cohort-component population projection* dan *hydrological model*.

Cohort-component population projection merupakan pendekatan matematika yang digunakan untuk melakukan proyeksi penduduk dengan mengakomodasi komponen-komponen penyebab perubahan jumlah penduduk ke dalam penghitungannya. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah proses kelahiran, kematian, dan migrasi.

Sedangkan *Hydrological Model* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Rainfall-Runoff-Inundation (RRI)* Model untuk mentransformasikan hujan menjadi aliran sungai sebagai sumberdaya air utama untuk memenuhi kebutuhan penduduk yang berada dalam DAS.

RRI model ini menggunakan prinsip 1) Curah hujan-limpasan dan genangan secara bersamaan dengan diffusion wave approximations., 2)

Aliran bawah permukaan (lateral subsurface dan vertikal infiltrasi) disimulasikan untuk representasi fisik dari proses curah hujan-limpasan, 3) One-dimensional diffusive wave river routing dan interaksinya dengan model kemiringan.

Pada dasarnya, ketersediaan sumber daya air merupakan suatu bagian dalam aspek daya dukung lingkungan yang perlu dipertimbangkan dalam pengaturan pertumbuhan dan persebaran penduduk. Sumber daya air adalah kebutuhan utama yang krusial dalam kehidupan manusia. Oleh karena itu persebaran penduduk perlu disesuaikan dengan kondisi ketersediaan sumber daya air agar kelangsungan hidup manusia dan kelestarian alam dapat berjalan seimbang dan seoptimal mungkin dapat mengurangi risiko kerusakan DAS.

Salama ini proyeksi jumlah penduduk tidak ada yang dilakukan dalam skala DAS, kebanyakan proyeksi jumlah penduduk dilakukan dalam skala batas administrasi seperti skala nasional, provinsi, dan kabupaten/kota. Faktanya keterkaitan DAS dan jumlah penduduk sangatlah berhubungan erat. Pengelolaan DAS yang berkelanjutan dapat menopang keberlangsungan penduduk yang berkualitas. Sumberdaya air dalam DAS merupakan aspek pendukung utama untuk menganalisa daya dukung lingkungan pada suatu wilayah.

Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar merupakan wilayah pusat dan lingkar utama pusat pemerintahan Provinsi Aceh. Banda Aceh khususunya, merupakan wilayah dengan kepadatan penduduk tertinggi di Provinsi Aceh, yaitu dengan tingkat kepadatan penduduk mencapai 43 jiwa/ Ha pada tahun 2020 (BPS, 2020). Selain itu angka migrasi netto Kota Banda Aceh semakin meningkat dari waktu ke waktu. DAS Krueng Aceh menjadi sumber air utama untuk wilayah Kota Banda Aceh dan Aceh

Besar. Pertumbuhan penduduk di wilayah pusat pemerintahan provinsi ini tentunya akan memengaruhi kondisi pada DAS tersebut. Untuk itu sangat penting untuk dikaji bagaimana keterkaitan antara pola pertumbuhan penduduk di wilayah tersebut dengan kondisi DAS Krueng Aceh.

B. Rumusan Masalah

Kebanyakan proyeksi jumlah penduduk dilakukan dalam skala batas administrasi seperti skala nasional, provinsi, dan kabupaten/kota. Untuk kebutuhan pengelolaan DAS maka perlu dilakukan penelitian proyeksi penduduk dalam skala DAS, sehingga stakeholder/ pemerintah dapat menjaga kesimbangan antara ketersedian dan kebutuhan sumberdaya air dalam DAS.

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memproyeksi kebutuhan dan ketersediaan sumberdaya air ada yang ada dalam skala daerah aliran sungai.

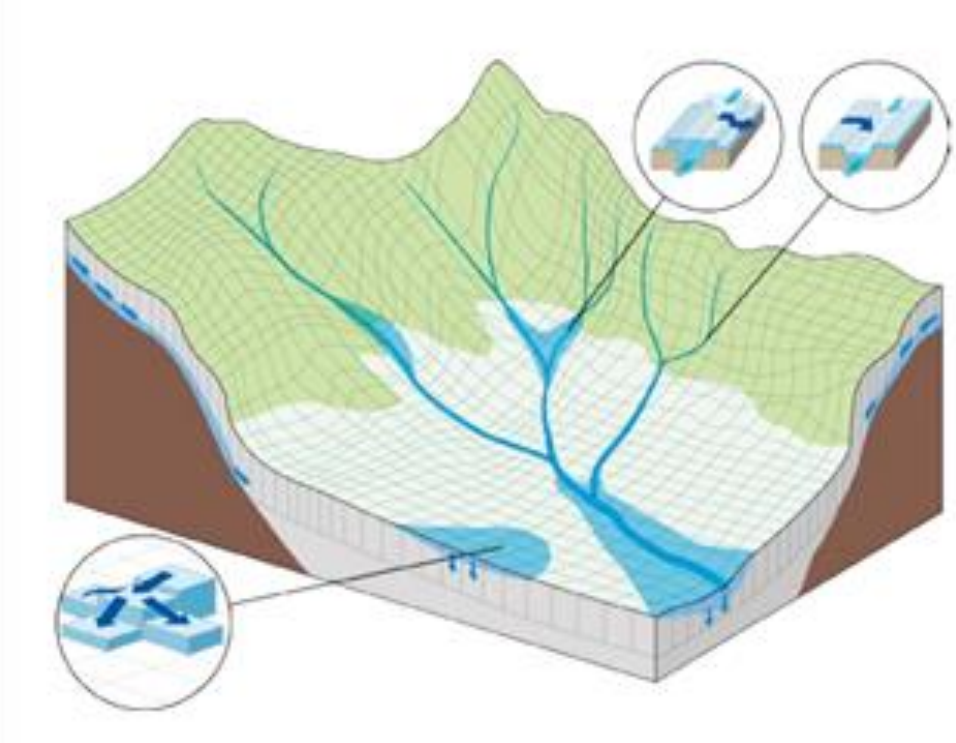
D. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat untuk informasi penting dalam pengelolaan daerah aliran sungai sehingga tidak terjadi kesalahan pengelolaan.

BAB II KAJIAN TEORI

A. Struktur Model Hidrologi (RRI)

Model Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) merupakan model dua dimensi yang mampu mensimulasikan curah hujan menjadi aliran sungai atau runoff (Sayama et al., 2012). Model ini berhubungan dengan lereng dan saluran sungai secara terpisah. Pada sel grid di mana saluran sungai berada, model mengasumsikan bahwa kemiringan dan sungai diposisikan dalam sel grid yang sama. Saluran didiskritisasi sebagai satu garis di sepanjang garis tengahnya dari sel grid lereng di atasnya. Aliran pada sel grid kemiringan dihitung dengan model gelombang difusif 2D, sedangkan aliran saluran dihitung dengan model gelombang difusif 1D. Untuk representasi yang lebih baik dari proses curah hujan-limpasan-genangan, model RRI juga mensimulasikan aliran bawah permukaan lateral, aliran infiltrasi vertikal dan aliran permukaan. Aliran bawah permukaan lateral, yang biasanya lebih penting di daerah pegunungan, diperlakukan dalam hubungan gradien debit-hidraulik, yang memperhitungkan aliran bawah permukaan dan aliran permukaan jenuh. Di sisi lain, aliran infiltrasi vertikal diperkirakan dengan menggunakan model Green-Ampt. Interaksi aliran antara alur sungai dan kemiringan diperkirakan berdasarkan rumus luapan yang berbeda, tergantung pada kondisi muka air dan tinggi tanggul.



Gambar 1 Diagram skematik Model RRI

B. Persamaan Model RRI

Sebuah metode untuk menghitung aliran lateral pada sel-sel grid lereng dicirikan sebagai "model genangan berbasis sel penyimpanan" (misalnya Hunter et al. 2007). Persamaan model diturunkan berdasarkan persamaan keseimbangan massa dan persamaan momentum untuk aliran tak tunak yang berubah secara bertahap.

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}=r-f \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t}+\frac{\partial uq_x}{\partial x}+\frac{\partial vq_x}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_x}{\rho_w} \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t}+\frac{\partial uq_y}{\partial x}+\frac{\partial vq_y}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{\tau_y}{\rho_w} \quad (3)$$

dimana h adalah tinggi air dari permukaan setempat, qx dan qy adalah satuan lebar debit dalam arah x dan y, u dan v adalah kecepatan aliran dalam arah x dan y, r adalah intensitas curah hujan, f adalah laju infiltrasi , H adalah ketinggian air dari datum, w adalah massa jenis air, g adalah percepatan gravitasi, dan tx dan ty adalah tegangan geser dalam arah x dan y. Suku kedua dari ruas kanan (2) dan (3) dihitung dengan persamaan Manning.

$$\frac{\tau_x}{\rho_w} = \frac{gn^2 u\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \quad (4)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho_w} = \frac{gn^2 v\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \quad (5)$$

di mana n adalah parameter kekasaran Manning.

Di bawah pendekatan gelombang difusi, suku inersia (suku sisi kiri dari

$$q_x = -\frac{1}{n}h^{5/3}\sqrt{\left|\frac{\partial H}{\partial x}\right|}\,\mathrm{sgn}\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right) \quad (6)$$

(2) dan (3)) adalah

$$q_y = -\frac{1}{n}h^{5/3}\sqrt{\left|\frac{\partial H}{\partial y}\right|}\,\mathrm{sgn}\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right) \quad (7)$$

ditelantarkan. Selain itu, dengan memisahkan arah x dan y (yaitu mengabaikan suku v dan u dalam

persamaan (2) dan (3) masing-masing), persamaan berikut diturunkan:

dimana sgn adalah fungsi signum.

$$\frac{dh^{i,j}}{dt}+\frac{q_x^{i,j-1}-q_x^{i,j}}{\Delta x}+\frac{q_y^{i-1,j}-q_y^{i,j}}{\Delta y}=r^{i,j}-f^{i,j} \quad (8)$$

Model RRI secara spasial mendiskritisasi persamaan keseimbangan massa (1) sebagai berikut:

di mana qxi,j, qyi,j adalah arah x dan y yang keluar dari sel grid di (i, j)

Dengan menggabungkan persamaan (6), (7) dan (8), kedalaman dan debit air dihitung pada setiap sel grid untuk setiap langkah waktu. Satu perbedaan penting antara model RRI dan model genangan lainnya adalah bahwa model pertama menggunakan bentuk yang berbeda dari hubungan gradien debit-hidraulik, sehingga dapat mensimulasikan aliran permukaan dan bawah permukaan dengan algoritma yang sama. Model RRI menggantikan persamaan (6) dan (7) dengan persamaan berikut (9) dan (10), yang awalnya dikonseptualisasikan oleh Ishihara dan Takasao (1962) dan dirumuskan dengan variabel tunggal oleh Takasao dan Shiiba (1976, 1988) berdasarkan perkiraan gelombang kinematik. Persamaan pertama pada (9) dan (10) ($h \leq d$) menggambarkan aliran bawah permukaan jenuh berdasarkan hukum Darcy, sedangkan persamaan kedua ($da \leq h$) menggambarkan kombinasi aliran bawah permukaan jenuh dan aliran permukaan. Perhatikan bahwa untuk model gelombang kinematik, gradien hidrolik diasumsikan sama dengan kemiringan topografi, sedangkan model RRI mengasumsikan kemiringan permukaan air sebagai gradien hidrolik.

$$q_x = \begin{cases} -k_a h \dfrac{\partial H}{\partial x}, & (h \le d) \\ -\dfrac{1}{n}(h-d_a)^{5/3}\sqrt{\left|\dfrac{\partial H}{\partial x}\right|}\,\mathrm{sgn}\left(\dfrac{\partial H}{\partial x}\right) - k_a h \dfrac{\partial H}{\partial x}, & (d_a < h) \end{cases} \quad (9)$$

$$q_y = \begin{cases} -k_a h \dfrac{\partial H}{\partial y}, & (h \le d) \\ -\dfrac{1}{n}(h-d_a)^{5/3}\sqrt{\left|\dfrac{\partial H}{\partial y}\right|}\,\mathrm{sgn}\left(\dfrac{\partial H}{\partial y}\right) - k_a h \dfrac{\partial H}{\partial y}, & (d_a < h) \end{cases} \quad (10)$$

di mana ka adalah konduktivitas hidrolik jenuh lateral dan da adalah kedalaman tanah dikalikan porositas efektif.

Persamaan (11) dan (12) juga dapat digunakan untuk mensimulasikan pengaruh tak jenuh, aliran bawah permukaan jenuh dan aliran permukaan dengan variabel tunggal h (Tachikawa et al. 2004, Sayama dan McDonnell 2009 untuk bahasa Inggris).

$$q_x = \begin{cases} -k_m d_m \left(\dfrac{h}{d_m}\right)^{\beta} \dfrac{\partial H}{\partial x}, & (h \le d_m) \\ -k_a (h-d_m)\dfrac{\partial H}{\partial x} - k_m d_m \dfrac{\partial H}{\partial x}, & (d_m < h \le d_a) \\ -\dfrac{1}{n}(h-d_a)^{5/3}\sqrt{\left|\dfrac{\partial H}{\partial x}\right|}\,\mathrm{sgn}\left(\dfrac{\partial H}{\partial x}\right) - k_a (h-d_m)\dfrac{\partial H}{\partial x} - k_m d_m \dfrac{\partial H}{\partial x}, & (d_a < h) \end{cases} \quad (11)$$

$$q_y = \begin{cases} -k_m d_m \left(\dfrac{h}{d_m}\right)^{\beta} \dfrac{\partial H}{\partial y}, & (h \le d_m) \\ -k_a (h-d_m)\dfrac{\partial H}{\partial y} - k_m d_m \dfrac{\partial H}{\partial y}, & (d_m < h \le d_a) \\ -\dfrac{1}{n}(h-d_a)^{5/3}\sqrt{\left|\dfrac{\partial H}{\partial y}\right|}\,\mathrm{sgn}\left(\dfrac{\partial H}{\partial y}\right) - k_a (h-d_m)\dfrac{\partial H}{\partial y} - k_m d_m \dfrac{\partial H}{\partial y}, & (d_a < h) \end{cases} \quad (12)$$

Perhatikan bahwa untuk menjamin kontinuitas perubahan debit ketika h = dm, konduktivitas hidrolik lateral di zona tak jenuh (km) dapat dihitung dengan km = ka / β , sehingga km tidak lagi menjadi parameter model.

Persamaan hubungan tahap-debit ini awalnya dikembangkan untuk diterapkan pada kawasan hutan lembab dengan lapisan tanah permeabel yang tinggi, di mana aliran bawah permukaan lateral adalah mekanisme pembangkitan limpasan yang dominan. Sebaliknya, untuk daerah yang relatif datar, proses infiltrasi vertikal pada periode pertama hujan lebih berdampak pada banjir skala besar; oleh karena itu, infiltrasi vertikal dapat diperlakukan sebagai kerugian untuk simulasi berbasis peristiwa. Di sini kita menghitung kehilangan infiltrasi f dengan model infiltrasi Green-Ampt (Raws et al., 992).

$$f = k_v\left[1+\frac{(\phi-\theta_i)S_f}{F}\right] \quad (13)$$

di mana kv adalah konduktivitas hidrolik jenuh vertikal, f adalah porositas tanah, i adalah kandungan volume air awal, Sf adalah hisapan di bagian depan pembasahan vertikal dan F adalah kedalaman infiltrasi kumulatif. Biasanya untuk daerah pegunungan di mana aliran bawah permukaan lateral dan aliran jenuh berlebih mendominasi, persamaan (9) dan (10) (atau (11) dan (12)) dapat digunakan dengan pengaturan f sama dengan nol. (Perhatikan bahwa persamaan (9) dan (10) (atau (11) dan (12)) secara implisit mengasumsikan bahwa laju infiltrasi vertikal di dalam tanah adalah tak terhingga.) Di sisi lain, untuk daerah dataran di mana infiltrasi kelebihan aliran darat mendominasi. , persamaan aliran permukaan (6) dan (7) dapat digunakan dengan pertimbangan infiltrasi vertikal dengan persamaan (13). Jika infiltrasi vertikal 1-5 f diatur menjadi bukan nol dan persamaan bawah permukaan lateral digunakan sebagai pengganti persamaan aliran permukaan, air bawah permukaan lateral diinfiltrasi ke batuan dasar dengan laju f. Seperti yang dapat dilihat dari persamaan, nilai parameter ka, km dan kv menentukan persamaan mana

yang akan digunakan; yaitu (6) dan (7) digunakan ketika ka dan km adalah nol, (9) dan (10) digunakan ketika km adalah nol, dan (13) tidak aktif ketika kv adalah nol.

C. 1D Routing Model

Model gelombang difusi satu dimensi diterapkan pada sel grid sungai. Geometri diasumsikan persegi panjang, yang bentuknya ditentukan oleh lebar W, kedalaman D dan tinggi timbunan He. Ketika informasi geometri rinci tidak tersedia, lebar dan kedalaman diperkirakan dengan fungsi berikut dari daerah penyumbang hulu A [km2].

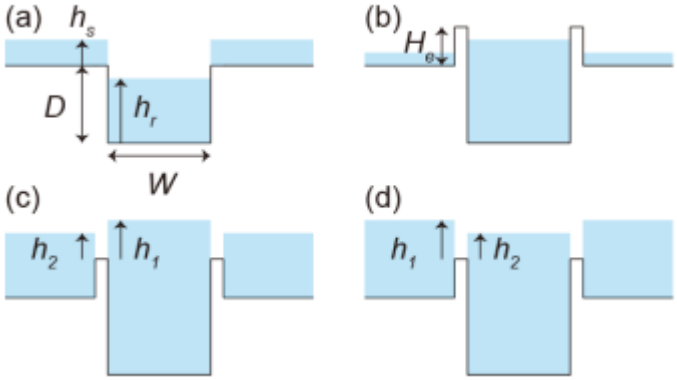
$$W = C_W A^{S_W} \quad (14)$$

$$D = C_D A^{S_D} \quad (15)$$

dimana CW, SW, CD dan SD adalah parameter geometri. Di sini satuan W dan D adalah meter.

D. Pertukaran Air Sungai dan Lereng

Pertukaran air antara sel jaringan lereng dan sel jaringan sungai di atasnya dihitung pada setiap langkah waktu tergantung pada hubungan antara tingkat air lereng, air sungai, tajuk tanggul dan tanah. Gambar 2 di bawah menunjukkan empat kondisi yang berbeda. Untuk setiap kondisi, formula pelimpahan yang berbeda diterapkan untuk menghitung debit satuan panjang dari lereng ke sungai (qsr) atau dari sungai ke lereng (qrs), yang kemudian dikalikan dengan panjang vektor sungai pada setiap sel grid untuk menghitung total laju aliran pertukaran (Iwasa dan Inoue, 1982).



Gambar 2 Skema Pertukaran Air Sungai dan Lereng

(a) Bila muka air sungai lebih rendah dari muka tanah, qsr dihitung dengan rumus penurunan langkah berikut:

$$q_{sr} = \mu_1 h_s \sqrt{g h_s} \quad (16)$$

di mana 1 adalah koefisien konstanta (=(2/3)^3/2), dan hs adalah kedalaman air pada sel lereng. Sejauh muka air sungai lebih rendah dari muka tanah, persamaan yang sama digunakan bahkan untuk kasus tanggul agar air lereng dapat mengalir ke sungai.

(b) Bila muka air sungai lebih tinggi dari muka tanah dan muka air sungai dan lereng lebih rendah dari tinggi tanggul, diasumsikan tidak ada pertukaran air antara lereng dan sungai.

(c) Bila muka air sungai lebih tinggi dari tajuk tanggul dan muka air lereng, rumus berikut digunakan untuk menghitung qrs aliran limpasan dari sungai ke lereng.

$$q_{rs} = \begin{cases} \mu_2 h_1 \sqrt{2gh_1} & h_2 / h_1 \le 2/3 \\ \mu_3 h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} & h_2 / h_1 > 2/3 \end{cases} \quad (17)$$

di mana μ2 dan μ3 adalah koefisien konstanta (=0,35, 0,91), dan h1 adalah selisih antara muka air sungai dan tajuk tanggul.

(d) Jika tinggi muka air lereng lebih tinggi dari tinggi tanggul dan muka air sungai, rumus yang sama seperti (17) digunakan untuk menghitung qsr aliran limpasan dari lereng ke sungai. Dalam hal ini, h1 adalah perbedaan elevasi antara lereng dan sungai, dan h2 adalah perbedaan elevasi antara sungai dan tajuk tanggul.

E. Skema Numerik

Untuk menyelesaikan persamaan (8), (9) dan (10), diterapkan metode Runge-Kutta orde kelima dengan kontrol waktu-langkah adaptif 1-7. Metode ini memecahkan persamaan diferensial biasa dengan rumus umum Runge-Kutta orde kelima dan memperkirakan kesalahannya dengan rumus orde empat yang disematkan untuk mengontrol langkah waktu (Cash dan Karp 1990, Press et al. 1992).

entuk umum dari rumus Runge-Kutta orde kelima adalah

$$\begin{aligned} k_1 &= \Delta t f(t, h_t) \\ k_2 &= \Delta t f(t + a_2 \Delta t, h_t + b_{21} k_1) \\ &\cdots \\ k_6 &= \Delta t f(t + a_6 \Delta t, h_t + b_{61} k_1 + \cdots b_{65} k_5) \\ h_{t+1} &= h_t + c_1 k_1 + c_2 k_2 + c_3 k_3 + c_4 k_4 + c_5 k_5 + c_6 k_6 + O(\Delta t^6) \end{aligned} \quad (18)$$

sedangkan rumus urutan keempat tertanam (Cash dan Karp 1990) adalah

$$h^*_{t+1} = h_t + c^*_1 k_1 + c^*_2 k_2 + c^*_3 k_3 + c^*_4 k_4 + c^*_5 k_5 + c^*_6 k_6 + O(\Delta_t^5) \quad (19)$$

Dengan mengurangkan ht+1 dikurangi h*t+1, kesalahan dapat diperkirakan dengan menggunakan k1 hingga k6 sebagai berikut

$$\delta \equiv h_{t+1} - h_t^* = \sum_{i=1}^{6} (c_i - c_i^*) k_i \quad (20)$$

Nilai konstanta (ai, bij, ci, ci*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang diperkenalkan oleh Cash dan Karp (1990). Jika melebihi akurasi yang diinginkan d, ht+1 dihitung ulang dengan langkah waktu yang lebih kecil (Δtpost)

$$\Delta t_{post} = \max\left(0.9\Delta t \left|\frac{\delta_d}{\delta}\right|^{0.25}, 0.5\Delta t\right) \quad (21)$$

Seperti dijelaskan di atas, model RRI menghitung kemiringan sungai dan interaksi lereng-sungai. Pengguna model menentukan langkah waktu untuk interaksi lereng-sungai t, yang juga digunakan sebagai langkah waktu awal untuk perhitungan lereng. Karena perhitungan sungai biasanya memerlukan langkah waktu yang lebih kecil karena kecepatan dan kedalaman air yang lebih tinggi, model ini memungkinkan perhitungan sungai untuk dilanjutkan secara independen dengan langkah waktu yang berbeda hingga langkah waktu perhitungan kemiringan sungai berikutnya. Langkah waktu awal untuk perhitungan sungai (Δtr) juga dapat ditentukan oleh pengguna model sebagai pembagi umum t. Dalam penelitian ini, d = 0,01, t = 600 detik. dan tr = 60 detik digunakan.

F. Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk adalah suatu upaya untuk memperkirakan jumlah dan stuktur penduduk untuk waktu mendatang. Penghitungan

proyeksi penduduk dilakukan dalam rangka memenuhi kebutuhan data kependudukan yang berkesinambungan, mengingat rentang waktu antar pengumpulan data kependudukan relatif lama, yaitu 5 tahun sekali (bergantian anara sensus dan survei antar sensus). Oleh karena itu penghitungan perkiraaan/proyeksi jumlah penduduk menjadi penting.

Proyeksi penduduk tidak bermaksud untuk meramal jumlah penduduk, malainkan merupakan suatu perhitungan ilmiah yang berdasar dari komponen-komponen yang menjadi determinan pertumbuhan penduduk di masa mendatang. Komponen-komponen yang dimaksud adalah proses kelahiran, kematian, dan migrasi penduduk. Komponen-komponen ini akan menjadi penentu kondisi struktur dan jumlah penduduk. Dengan kata lain, proyeksi penduduk adalah perhitugan jumlah penduduk menurut komposisi umur dan jenis kelamin di masa mendatang berdasarkan asumsi arah perkembangan fertilitas, mortalitas, dan migrasi.

Ketepatan hasil proyeksi penduduk sangat tergantung pada ketepatan dalam menentukan asumsi arah perkembangan komponen perubahan penduduk yang digunakan. Asumsi tingkat fertilitas, mortalitas, dan migrasi di masa mendatang ditentukan melalui pola tren dari masa lalu hingga saat ini, serta dengan memerhatikan pula target-target posisi nilai terkait yang ingin dicapai di masa yang akan datang. Penentuan target-target tersebut tentu saja berhubungan dengan arah kebijakan dan upaya intervensi dalam bidang kependudukan yang juga tidak dapat terlepas dari pengaruh aspek lainnya seperti aspek ekonomi, sosial, kesehatan, dan lain sebagainya (BPS, 2010).

1.1 Metode Proyeksi Penduduk

Terdapat sejumlah pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan proyeksi penduduk, antara lain sebagai berikut:

1.1.1 Metode Aritmatika

Metode aritmatika menasumsikan bahwa pertumbuhan penduduk secara mutlak akan sama setiap tahun. Formula yang digunakan untuk menghitung jumlah penduduk adalah:

$$P_t = P_0(1+rt)$$

sehingga

$$r = \frac{1}{t}\left(\frac{P_t}{P_0} - 1\right)$$

dimana:

P_t = Jumlah penduduk pada tahun t

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun dasar

r = Laju pertumbuhan penduduk

t = Periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

1.1.2 Metode Geometrik

Proyeksi penduduk dengan metode geometrika menggunakan asumsi bahwa jumlah penduduk akan bertambah mengikuti deret geometrik dengan laju pertumbuhan yang sama setiap tahun. Formula perhitunganya adalah sebagai berikut:

$$P_t = P_0(1+r)^t$$

sehingga

$$r = \left(\frac{P_t}{P_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Keterangan:

P_t = Jumlah penduduk pada tahun t

P_0 = Jumalah penduduk tahun dasar

r = Laju pertumbuhan penduduk

t = Periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

1.1.3 Metode Cohort-Component

Cohort-component population projection (CCPP) adalah pendekatan proyeksi penduduk yang mengakomodasi komponen-komponen penyebab perubahan jumlah penduduk ke dalam penghitungannya. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah proses kelahiran, kematian, dan migrasi. Faktor-faktor ini sendiri juga merupakan implikasi atau dampak dari keadaan kehidupan masyarakat secara luas, yang setidaknya berkenaan dengan kondisi kesehatan dan ekonomi dari masyarakat di suatu wilayah. Formula proyeksi dengan metode CCPP adalah sebagai berikut:

$$P_t = P_0 + (L - M) + [Migrasi_{masuk} - Migrasi_{keluar}]$$

Keterangan:

P_t = Jumlah penduduk pada tahun t

P_0 = Jumalah penduduk tahun dasar

L = Jumlah kelahiran

M = Jumlah kematian

Untuk jangka waktu proyeksi yang relatif pendek (kurang dari lima tahun), ketiga pendekatan akan memberikan hasil proyeksi yang relatif sama. Hal ini berdasarkan kenyataan bahwa dalam jangka pendek, proses kelahiran, kematian dan perpindahan (migrasi) penduduk pada umumnya tidak mengalami perubahan signifikan. Akan tetapi kondisinya akan berbeda untuk jangka waktu yang relatif lebih lama, karena kelahiran, kematian dan migrasi pada umumnya telah berubah, baik dalam hal pola maupun levelnya. Artinya, untuk periode proyeksi yang relatif panjang, pengaruh dari masing-masing komponen determinan jumlah penduduk menjadi signifikan. Oleh karena itu untuk jangka waktu yang relatif panjang, penggunaan metode komponen relatif lebih tepat dibandingkan dengan metode lainnya.

Metode komponen memungkinkan diperoleh proyeksi penduduk menurut umur dan jenis kelamin berdasarkan data tingkat kelahiran, kematian, dan perpindahan pada setiap kohor. Untuk penyusunan proyeksi ini diperlukan data dasar sebagai berikut:

a. Distribusi penduduk menurut kelompok umur dan jenis kelamin yang telah dirapikan
b. Pola mortalitas
c. Pola fertilitas menurut kelompok umur
d. Rasio jenis kelamin saat lahir; dan
e. Pola migrasi menurut kelompok umur.

1.2 Metode Rasio Kelangsungan Hidup (Survival Ratio)

Rasio kelangsungan hidup (*survival ratio*, SR) untuk suatu kelompok umur menunjukkan proporsi penduduk usia di awal kelompok umur tersebut yang akan bertahan hidup pada usia di akhir interval kelompok umur yang bersangkutan. Misalnya, $SR_{20\text{-}25}$ = 0,995

menunjukkan bahwa 99,5 persen penduduk umur 20 tahun akan dapat mencapai umur 25 tahun.

Rasio kelangsungan hidup pada umumnya dihitung untuk lima tahunan dan 10 tahunan. Penghitungan rasio lima tahunan dilakukan untuk kepentingan proyeksi penduduk, sementara rasio 10 tahunan pada umumnya digunakan untuk estimasi migrasi neto.

Keunggulan proyeksi penduduk dengan menggunakan rasio kelangsungan hidup adalah selain dapat dilakukan proyeksi menurut kelompok umur, dapat juga disusun proyeksi penduduk menurut jenis kelamin. Kelemahannya adalah proses penghitungannya memerlukan langkah yang relatif kompleks dan memerlukan data yang rinci menurut jenis kelamin dan kelompok umur (BPS, 2011).

1.3 Life Table

Life Table (tabel hayat) merupakan suatu tabel yang berisi data mengenai kelompok penduduk tertentu yang masih hidup yang dapat dipergunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah demografis. Dengan menggunakan tabel hayat dapat diperkirakan seberapa besar kemungkinan seseorang akan mencapai atau meninggal pada usia tertentu. Selain itu dapat juga memperkirakan peluang hidup atau kematian lain yang sifatnya lebih kompleks.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan *life table* pada dasarnya merujuk pada sifat dan ciri yang secara prinsip berlaku pada penduduk stasioner (*stationary population*). Penduduk stasioner yang dimaksudkan adalah penduduk yang stabil (kelahiran dan kematiannya konstan) dengan jumlah kelahiran sama dengan jumlah kematian.

Ditinjau dari referensi tahun berlakunya, *life table* diklasifikasi menjadi dua jenis, yaitu:

1. *Period Life Table* yang dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap kondisi mortalitas penduduk berdasarkan pengalaman mortalitas pada periode waktu tertentu (misalnya tahunan, lima tahunan, atau periode lainnya). *Life Table* jenis ini disebut juga dengan *Current Life Table*, karena menggambarkan tingkat mortalitas penduduk yang berlaku saat ini.
2. *Cohort Life Table* adalah jenis tabel hayat yang berdasar kepada pengalaman riil kelangsungan hidup dari suatu kelompok atau kohor, yaitu dari individu-individu yang lahir pada tahun yang sama. Pendekatan ini atadisebut juga dengan *Longitudinal Life* Table, karena merupakan riwayat hidup suatu kohor hingga kematiannya.

Kedua jenis *life table* tersebut dapat disusun ke dalam tabel lengkap ataupun tabel ringkas. Tabel hayat singkat (*abridged life table*) meliputi seluruh umur tetapi terkelaskan menjadi kelompok-kelompok umur dengan interval tertentu, seperti: 5 atau 10 tahunan. Sementara itu, tabel hayat lengkap (*complete life table*) merupakan tabel hayat yang disajikan dalam interval umur tahunan.

a. Notasi dan Fungsi dalam Life Table

Notasi dan fungsi yang digunakan dalam *life table* antara lain adalah:

l_x : jumlah penduduk yang bertahan hidup hingga mencapai umur tepat x

d_x : banyaknya kematian antara umur x hingga $x+1$

$$d_x = l_x - l_{x+1}$$

${}_n d_x$: banyaknya kematian antara umur x hingga $x+n$

$${}_n d_x = l_x - l_{x+n}$$

q_x : peluang seseorang tepat berumur x akan meninggal sebelum mencapai

umur $x+1$

$$q_x = \frac{d_x}{l_x}$$

${}_n q_x$: peluang seseorang tepat berumur x akan meninggal sebelum mencapai

umur $x+n$

$${}_n q_x = \frac{{}_n d_x}{l_x}$$

L_x : total waktu yang dijalani oleh sejumlah l_x antara umur x sampai dengan

$x+1$

$$L_x = l_x - \frac{1}{2} d_x$$

${}_n L_x$: total waktu yang dijalani oleh sejumlah l_x antara umur x sampai dengan

$x+n$

$${}_n L_x = l_x - \frac{n}{2} {}_n d_x$$

T_x : total waktu yang akan dijalani oleh sejumlah l_x mulai umur tepat x

$$T_x = \sum_x^{\omega} L_x$$

e_x : tangka harapan hidup bag penduduk berumur x

$$e_x = \frac{T_x}{l_x}$$

m_x : tingkat kematian bagi penduduk berumur x

$$e_x = \frac{d_x}{L_x}$$

b. Model Life Table

United Nation (1983) menyebutkan ada empat sistem model tabel hayat yang dikembangkan berdasarkan analisis perhitungan tingkat kematian pada populasi yang nyata, yaitu model tabel hayat Perserikatan Bangsa Bangsa (UN *Model Life Tables*), Coale-Demeny (Coale and Demeny *Regional Model Life Tables*), Ledermann (Ledermann's *System of Model Life Tables*) dan Sistem Logit (*The Logit System of Model Life Tables*).

Di antara keempat model tabel kematian tersebut, yang sampai saat ini masih dipergunakan di Indonesia adalah model tabel kematian Coale-Demeny yang terdiri dari 4 model sesuai dengan kelompok pola mortalitasnya. Penjelasan masing-masing model adalah sebagai beriku.

- Model *East*, dengan karakteristik angka kematian bayi yang tinggi dan peningkatan angka kematian tinggi setelah umur 50 tahun
- Model *North*, dimana memiliki angka kematian bayi yang tinggi dan angka kematian setelah umur 45 dan 50 tahun relatif lebih rendah dari pada tabel hayat lainnya.
- Model *South*, dimana memiliki angka kematian yang tinggi umur di bawah 5 tahun, angka kematian rendah untuk umur di antara 40 dan 60 tahun, tetapi tinggi untuk umur 65 tahun ke atas.
- Model *West*: dimana keadaan anggka kematian hampir merata pada semua tingkatan umur

Ada beberapa pendapat dari para peneliti mengenai keempat model *life table* Coale-Demeny yang lebih cocok dipergunakan untuk tujuan. perkiraan di Indonesia dengan anggapan bahwa pola mortalitas di

Indonesia sesuai dengan salah satu model tersebut. Menurut Iskandar (1976) dan Kasto (1984), biasanya tabel hayat *Coale-Demeny* model *West* paling sering digunakan untuk penduduk di negara-negara yang masih belum mempunyai data statistik cermat dan lengkap mengenai kematian seperti Indonesia.

1.4 Penentuan Asumsi

Penentuan asumsi merupakan kunci dalam perhitungan proyeksi penduduk. Asumsi mengenai kecenderungan ketiga komponen laju pertumbuhan penduduk yaitu, tingkat fertilitas, mortalitas, dan migrasi biasanya ditentukan dengan memperhatikan pola yang terjadi di masa lalu. Selain memperhatikan pola pergerakan ketiga komponen tersebut berdasarkan data-data terdahulu, kita perlu memperhatikan juga kecenderungan yang mungkin terjadi di masa mendatang akibat intervensi dari kebijakan, yang mana menargetkan nilai tertentu untuk masing-masing komponen di masa mendatang.

a) Asumsi Fertilitas

Asumsi fertilitas ditentukan dengan mengikuti pola angka kelahiran total (TFR) masa lalu. TFR Indonesia terus mengalami penurunan dari waktu ke waktu, yang mana diperkirakan akan mencapai angka 2,1 pada tahun 2015 atau dengan kata lain mencapai *Net Reproduction Rate* (NRR) = 1.

Jika suatu wilayah mencapai NRR = 1 atau dengan istilah lain disebut juga tingkat *replacement level* (kondisi dimana setiap satu ibu diganti tepat oleh satu bayi perempua, bukan berarti tidak akan mengalami pertumbuhan penduduk, melainkan akan tetap

bertambah dengan laju pertumbuhan yang relatif sstabil (penduduk tumbuh seimbang).

Angka perkiraan TFR diperoleh dengan menggunakan rumus fungsi logistik sebagai berikut:

$$Y = L + \frac{k}{1 + be^{at}}$$

dimana:

Y = perkiraan TFR

L = perkiraan asymtot bawah TFR pada saat NRR=1

k = suatu besaran (konstanta), untuk menentukan asymtot atas

a dan b = koefisien fungsi logistik

t = waktu sebagai variabel bebas

e = konstanta eksponensial

b) Asumsi Mortalitas

Seruoa dengan tren TFR, Angka Kematian Bayi (IMR) Indonesia juga terus menurun dari waktu ke waktu . Penentuan asumsi angka kematian dapat disesuaikan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*/SDGs). Adapun penentuan asumsi dilakukan dengan menggunakan rumus fungsi logistic sebagai berikut:

$$Y = L + \frac{k}{1 + be^{at}}$$

dimana:

Y = perkiraan IMR

L = perkiraan asymtot bawah

k = suatu besaran (konstanta), untuk menentukan asymtot atas

a dan b = koefisien fungsi logistik

t = waktu sebagai variabel bebas

e = konstanta eksponensial

c) Asumsi Migrasi

Penentuan asumsi migrasi dapat dengan menggunakan pola migrasi risen 5 tahun, yaitu dengan menghitung *Age Specific Net Migration Rate* (ASNMR)/ migrasi neto menurut kelompok umur. Berikut adalah rumus perhitungan ASNMR suatu wilayah:

$$ASNMR_i = \frac{In_i - Out_i}{5 \times P_{i\,\text{mid x-5 to x}}} \times 1000$$

dimana :

In_i = Migrasi masuk di wilayah i

Out_i = Migrasi keluar di wialayah i

$P_{i\ mid\ x\text{-}5\ \text{to}\ x}$ = Penduduk pertengahan tahun atara tahun x-5 dan tahun x

x = Tahun sensus/survei yang digunakan sebagai asumsi migrasi

BAB III : METODE PENELITIAN

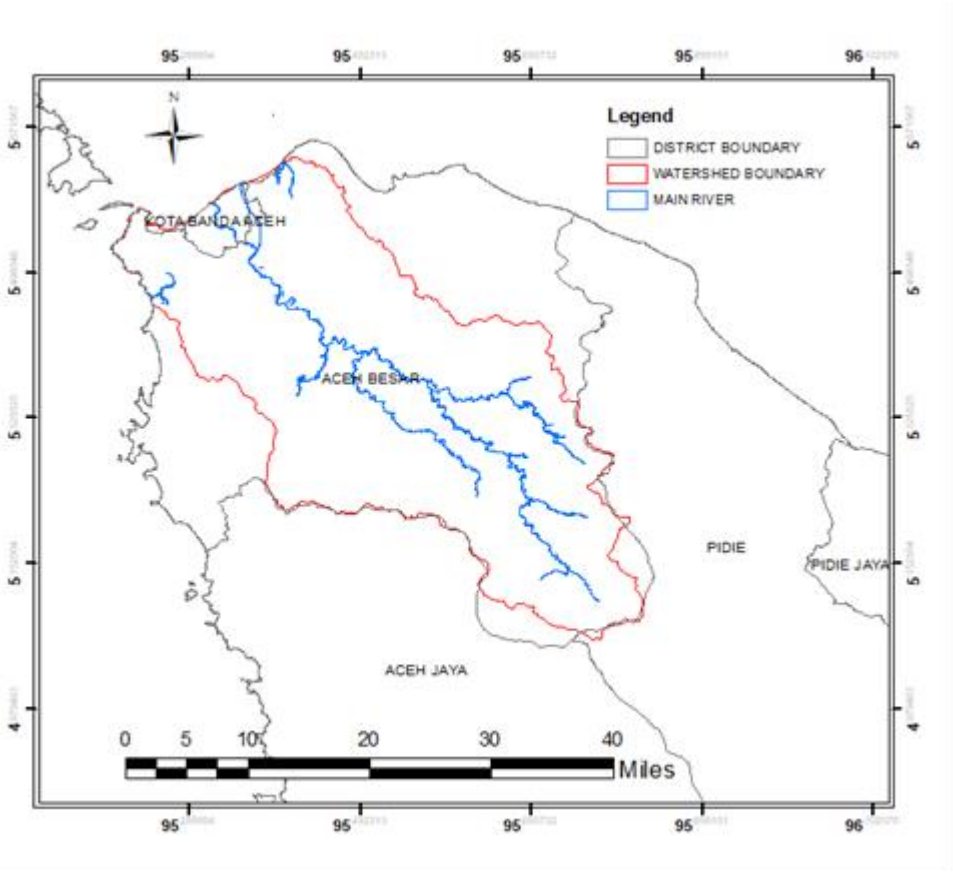
A. Alat dan Bahan Penelitian

Semua data yang dibutuhkan untuk menganalisa yaitu data sekunder. Beberapa yang dibutuhkan dalam penelitian ini seperti data jumlah penduduk (baseline), data DEM ASTER Versi 3, data curah hujan, data penggunaan lahan, data jenis tanah, Data jaringan sungai, data klimatologi lainnya.

B. Tempat Penelitian

DAS Krueng Aceh terletak di Provinsi Aceh, Indonesia dan tepatnya berlokasi di empat kapubaten/kotamadya yaitu kabupaten Banda Aceh, Aceh Besar, Pidie, dan Aceh Jaya. Luasan area DAS untuk setiap kabupaten/kota terdiri dari 190601.05 ha (96.31%) berada dalam wilayah Kabupaten Aceh Besar, seluas 6279.10 ha (3.17%) dalam wilayah Kota Banda Aceh, seluas 788.60 ha (0.40%) terletak dalam Kabupaten Pidie dan seluas 234.88 ha (0.12%) dalam Kabupaten Aceh Jaya. Secara geografis DAS Krueng Aceh terletak di posisi 5003′41′′-5038′10′′ Lintang Utara dan 95011′41′′-95049′46′′ Bujur Timur. DAS kreung Aceh di sebelah utara berbatasan langsung dengan Selat Malaka. Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Aceh Jaya, sebelah Barat berbatasan dengan Samudera Indonesia, dan sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Pidie. DAS Krueng Aceh mempunyai 7 (tujuh) Sub DAS yang tersebar di KotaBanda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar, yaitu Sub DAS Krueng Aceh Hilir, Sub DAS Krueng Jreue, Sub DAS Keumireu, Sub DAS Krueng Inong, Sub DAS Seulimum, Sub DAS Krueng Khea dan Sub DAS Krueng Aneuk. Air

mengalir ke sungai utama yaitu sungai krueng Aceh, sungai ini merupakan sungai besar yang membelah dua Kota Banda Aceh.

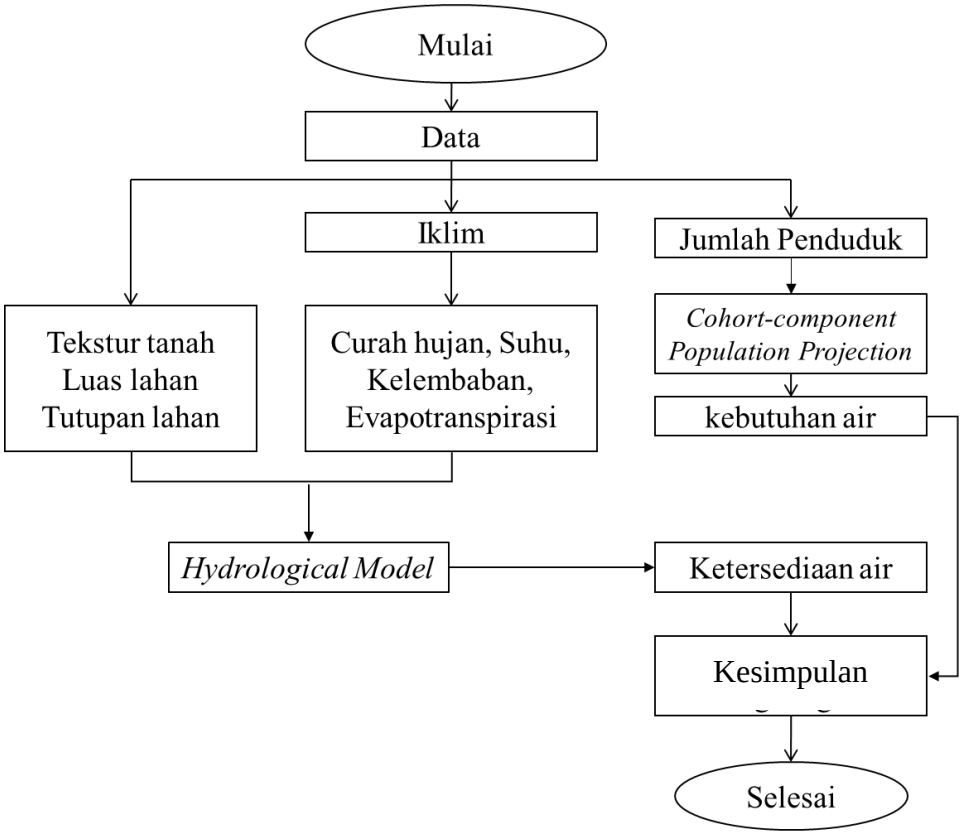


Gambar 3 Tempat Penelitian

C. Prosedur Penelitian

Penggambaran yang sistematis terhadap penelitian ini disajikan secara detil untuk semuanya proses dari keseluruhan penelitian ini tergambar melalui skema berikut.

1. Prosedur Penelitian



Gambar 4 Diagram alir penelitian

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

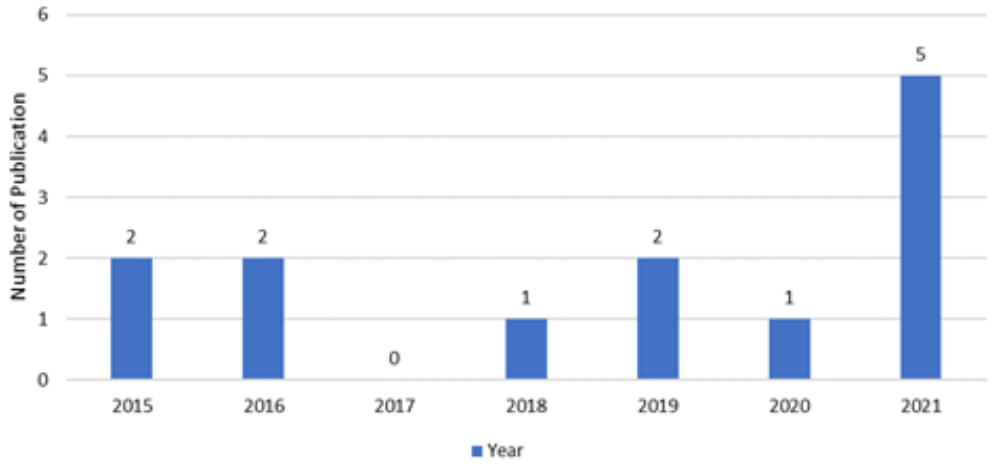
A. Relevansi Penggunaan Model RRI di Indonesia

Indonesia memliki jumlah DAS yang sangat banyak dan memiliki ukuran yang sangat beragam. Kerusakan beberapa DAS di Indonesia juga telah terjadi dan sering berakibat bencana banjir dan kekeringan yang mengancam penduduk setempat. Kehadiran Model RRI dengan kemampuannya akan membantu berkontribusi dalam memajemen DAS ataupun dalam usaha untuk menyelesaikan permasalahan sumberdaya air. Model RRI adalah model dua dimensi (2D) yang mampu simulasi limpasan curah hujan dan genangan banjir secara bersamaan. Kecocokan dan relevansi penggunaan model ini dilihat dari laporan penggunakan yang sudah dilakukan di Indonesia. Penggunaan model ini di Indonesia telah mencapai 13 kali yang dihimpun berdasarkan jumlah publikasi berkenaan dengan aplikasi model RRI. Semua publikasi tersebut telah melewati peer-review baik paper dari jurnal maupun paper dari konferensi. Aplikasi telah dilakukan dibeberapa tempat termasuk *The Solo River Basin, Upper Citarum Watershed, The Batanghari River Basin, and the upper Brantas river basin*. Mengingat jumlah DAS yang bermasalah di Indonesia semakin meningkat, maka penggunaan model ini memiliki prospect untuk dilakukan di DAS lain. Namun sampai saat ini, para peneliti memiliki tantangan dalam membangun permodelan hidrologi karena terkendala pada ketersediaan data klimatologi dan hidrologi di dalam DAS. Oleh karena itu, selain peningkatan infrastruktur pengukur data dilapangan dan juga teknik pengindraan jauh juga diperlukan dalam usaha mengenerate informasi DAS yang ditargetkan.

B. Sejarah Perkembangan RRI model

Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model dikembangkan oleh the International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM) di bawah naungan UNESCO. RRI model merupakan salah satu teknologi kunci dari ICHARM dikembangkan oleh Dr. Takahiro Sayama selama masa jabatannya di ICHARM. Model RRI dianugerahi penghargaan atas keunggulannya pada tahun 2014 oleh Japan Society of Civil Engineers. Peneliti ICHARM yang mengembangkan model tersebut juga menerima Penghargaan Ilmuwan Muda 2013 dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Olahraga, Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, dan menerima Penghargaan Pengembangan Teknologi Infrastruktur ke-15 oleh Kementerian Pertanahan, Infrastruktur, Transportasi, dan Pariwisata pada tahun 2013 (Sayama et al., 2014).

Di Indonesia model RRI ini pertama sekali digunakan melalui dua publikasi pada tahun 2015 yang masing-masing model digunakan di the Solo River Basin dan Upper Citarum Watershed (Shun Kudo et al., 2015; Nastiti et al., 2015). Gambar 5 menunjukan trend penggunaan aplikasi RRI di Indonesia. Trend ini berdasarkan jumlah publikasi yang dilakukan selama dalam 7 tahun terakhir. Trend Penggunaan paling tinggi yaitu pada tahun 2021 dengan 5 publikasi. Namun pada tahun 2017 tidak ada publikasi mengenai penggunaan RRI di Indonesia. Sejak tahun 2015 sampai 2021 publikasi mengenai RRI model di Indonesia berjumlah total 13 publikasi.



Gambar 5 Trend Penggunaan RRI model di Indonesia

C. Penggunaan RRI Model di Indonesia

Sejak 2015 para peneliti telah mempublikasikan berbagai studi mengenai RRI model. Jika dilihat dari ukuran DAS, penggunaan model ini di Indonesia memang pada DAS dengan ukuran yang relative besar seperti *The Solo River Basin (15,752 km^2) sebanyak 6 kali, The upper Brantas river basin (112.54 km^2) 2 kali, Upper Citarum Basin 1,800 km^2) 2 kali, dan The Batanghari River Basin (42,960 km^2) 3 kali.* Tujuan penelitian juga berbeda-beda ada yang hanya berfokus pada aplikasi RRI model dan juga dalam usaha untuk menilai dampak terhadap kejadian banjir. Sejauh ini pemanfaatan RRI model di Indonesia lebih didominasi pada studi banjir. Ada 6 publikasi yang titik fokusnya pada studi banjir dengan rincian 5 publikasi dengan tempat penelitianya di the Solo River Basin dan 1 lokasi di The Batanghari River Basin.

Sungai Solo adalah sungai terpanjang di pulau Jawa, Indonesia, panjangnya sekitar 600 km dengan luas DAS sebesar 15.752 km^2. Membentang di sepanjang Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur dan mengalir ke timur laut ke pantai Laut Jawa, barat laut kota Surabaya

(Hendrawan & Komori, 2021). Pertanian, terutama budidaya padi, adalah salah satu kategori penggunaan lahan yang paling utama di DAS ini. Kondisi penggunaan lahan seperti ini sangat rentan terhadap perubahan iklim. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan oleh Shrestha *et all* (Badri Bhakta Shrestha et al., 2019) dengan bantuan RRI Model, menunjukkan akan terjadi peningkatan luas genangan dan kerusakan pertanian dengan perubahan intensitas banjir dari banjir 50 hingga 100 tahun pada kasus iklim mendatang relatif lebih tinggi di DAS Solo River Basin. Hasil senada juga ditunjukan oleh Kudo Shun *et all* (Shun Kudo et al., 2015) bahwa debit puncak dan volume genangan maksimum meningkat pada periode mendatang (2075-2099), khususnya kejadian banjir rendah dengan frekuensi lebih dari 10 tahun periode ulang. Perluasan area genangan juga akan terjadi di sekitar aliran sungai Solo di masa depan. Kemudian dipenelitian lainnya, Hasil analisis frekuensi menunjukkan bahwa perbedaan antara iklim dan masa depan dalam hal curah hujan dan debit puncak tidak terlalu besar pada periode ulang pendek sedangkan mereka menunjukkan perbedaan besar khususnya periode ulang rendah lebih dari 10 tahun (S. Kudo et al., 2016). Tambahan jenis penilitian lainya di DAS ini yaitu studi mengenai penyajian pendekatan alternatif untuk mendapatkan hubungan hasil panen banjir menggunakan penginderaan jauh dan model hidrodinamik (Hendrawan, 2020).

DAS Citarum Hulu terletak di Jawa Barat yang sering terjadi banjir setiap tahun juga pernah diaplikasikan RRI Model oleh Nastiti K, et all (Nastiti et al., 2015). RRI model mensimulasikan daerah genangan dengan hasil yang baik, namun debit simulasi menunjukkan beberapa perbedaan karena ketidakpastian yang terlibat dalam debit yang obervasi dan defisit data input untuk simulasi. Kemudian pada usaha selanjutnya, Nastiti K, et all (Nastiti et al., 2018) menggunakan metode Monte Carlo untuk proses

kalirasi model di DAS Citarum Hulu. Hasil studi ini menunjukkan bahwa model RRI mengidentifikasi daerah genangan di DAS sungai skala besar lebih efektif bila menggunakan beberapa set data yang diturunkan dari satelit dibandingkan dengan peta genangan yang diamati yang diperoleh dari JICA pada tahun 2010 dan citra Landsat 7.

Perubahan iklim di masa mendatang juga diproyeksikan akan berdampak signifikan di DAS the Batanghari River basin terhadap peningkatan tingkat bahaya dalam hal frekuensi banjir, luas dan kedalaman serta risiko banjirnya di the Batanghari River basin (Ikhzan et al., 2021). DAS Batanghari merupakan DAS terbesar di Pulau Sumatera yang terletak di Provinsi Jambi. Berdasarkan hasil studi dengan bantuan RRI model, banjir akan meningkat di wilayah ini; misalnya, volume genangan banjir yang sesuai dengan periode ulang 20 tahun akan meningkat 3,3 kali lipat (Sayama et al., 2019; Yamamoto et al., 2021).

Studi lain itu, penggunaan RRI model tidak hanya berkisar pada prediksi tingkat potensial banjir dimasa depan, tetapi juga pernah dilakukan dengan tujuan pada lainnya pada the upper Brantas river basin. Di DAS the upper Brantas river basin pernah diaplikasikan DAS untuk kebutuhan dalam membandingkan model runoff curah hujan terdistribusi (RRI Model) dan lumped (Tank Model) untuk estimasi kelembaban tanah (Hapsari, Syarifuddin, Putri, & Novianto, 2021). Mengenai jumlah kuantitatif kadar air tanah, Model RRI dapat membuat simulasi yang masuk akal meskipun variasi temporal tidak cukup direproduksi. Jenis penelitian lainnya di DAS ini adalah untuk mensimulasikan kelembaban tanah menggunakan model hidrologi RRI di sub-DAS yang rawan longsor dan menggunakan simulasi limpasan sebagai proksi untuk menurunkan kelembaban tanah satelit (Hapsari, Syarifuddin, Putri, Sasongko, et al., 2021).

Tabel 1 Referensi Penggunaan RRI model di Indonesia

No	Judul dan Referensi	DAS	Tujuan
1	Assessment of Climate Change Impact on Flood Discharge and Inundation in The Solo River Basin, Indonesia (Shun Kudo et al., 2015)	The Solo River Basin	Mengkaji dampak perubahan iklim terhadap debit banjir dan genangan di DAS Solo di Indonesia berdasarkan model Rainfall-Runoff-Inundation (model RRI)
2	The application of Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model for inundation case in upper Citarum Watershed, West Java-Indonesia (Nastiti et al., 2015)	Upper Citarum Basin	Untuk membangun Model RRI yang dioptimalkan dengan data terbatas dan berfokus pada seberapa baik daerah genangan yang disimulasikan sesuai dengan peta genangan yang diamati
3	Analysis of flood risk change in future climate in terms of discharge and inundation in the Solo River Basin (S. Kudo et al., 2016)	The Solo River Basin	Menganalisis pengaruh perubahan iklim terhadap debit banjir dan genangan di DAS Solo
4	Assessment of disaster damage due to flood hazard in the Solo River Basin of Indonesia (B B Shrestha et al., 2016)	The Solo River Basin	Untuk menilai kerusakan banjir area pertanian di DAS Solo Indonesia
5	Large-scale rainfall–runoff–inundation modeling for upper Citarum River watershed, Indonesia (Nastiti et al., 2018)	Upper Citarum Basin	Untuk menerapkan model RRI yang diusulkan
6	Assessing flood disaster impacts in agriculture under climate change in the river basins of Southeast Asia (Badri Bhakta Shrestha et al., 2019)	The Solo River Basin	Untuk menilai kerusakan banjir untuk banjir masa depan di bawah dampak perubahan iklim
7	Impact of Climate Change on Hydrological Cycle in a Humid Tropical River Basin in Sumatra, Indonesia (Sayama et al., 2019)	The Batanghari River Basin	Untuk melakukan investigasi lapangan dan pemodelan untuk mensimulasikan proses curah hujan-limpasan dan genangan banjir pada skala DAS di DAS Batanghari di Sumatera, Indonesia
8	Crop Yield Response to The	The Solo	Untuk mempelajari respon hasil

	Flood hazard: An Insight from Remote Sensing and Hydrodynamic (Hendrawan, 2020)	River Basin	panen terhadap bahaya banjir menggunakan data penginderaan jauh dan model hidrodinamik
9	Comparisons of distributed and lumped rainfall-runoff model for soil moisture estimation (Hapsari, Syarifuddin, Putri, & Novianto, 2021)	The upper Brantas river basin	Untuk mendapatkan nilai kelembaban tanah dari dua model hidrologi, yaitu Model RRI dan Model Tangki
10	Satellite Soil Moisture Downscaling Using Rainfall Runoff Model (Hapsari, Syarifuddin, Putri, Sasongko, et al., 2021)	The upper Brantas river basin	Simulasi lengas tanah menggunakan model hidrologi di sub-DAS yang rawan longsor dan simulasi runoff sebagai proksi penurunan lengas tanah satelit.
11	Developing flood vulnerability curve for rice crop using remote sensing and hydrodynamic modeling (Hendrawan & Komori, 2021)	The Solo River Basin	Untuk mempelajari kurva kerentanan banjir untuk tanaman padi menggunakan kehilangan hasil panen yang diperkirakan oleh statistik tanaman dan pemodelan penginderaan jauh sebagai indikator kerugian
12	Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia (Yamamoto et al., 2021)	The Batanghari River Basin	Untuk mengkaji dampak perubahan iklim terhadap genangan banjir di suatu DAS di Pulau Sumatera
13	Flood Hazard Assessment with High Spatial Resolution Under Climate Change Scenario (Ikhzan et al., 2021)	The Batanghari River Basin	Mengkuantifikasi informasi spasial bahaya banjir dengan resolusi spasial tinggi

D. **Tantangan dan Prospek Penggunaan RRI Model**

Permodelan hidrologi selalu memiliki tantangan dalam mengaplikasi di suatu negera ataupun dalam DAS tertentu. Jenis atau bentuk tantangan sangat tergantung pada masing-masing lokasi atau negara tertentu. RRI model pada akhir-akhir ini telah mulai dikenal di Indonesia seiring dengan permasalahan-permasalahan DAS yang semakin meningkat. Namun, dalam aplikasi permodelan hidrologi memiliki

tantangan utama jika informasi dan kualitas data DAS tidak tersedia dengan baik (Livneh et al., 2017).

Secara umum, dalam membangun sebuah permodelan hidrologi harus melewati 4 langkah utama yaitu penyiapan dan data input, running model, kalibrasi, validasi, dan membaca output. Tahapan-tahapan tersebut juga berlaku pada RRI model. Input data yang diperlukan di RRI model seperti Rainfall, Digital Elevation Model (DEM), Landuse, River Cross-section. Tantangan terbesar di Indonesia dalam mengembangkan permodelan RRI ini yaitu pada ketersediaan data observasi di DAS. Misalnya, ketersediaan data DEM dengan resolusi tinggi masih langka umumnya akan menghasilkan simulasi aliran yang kurang baik dan merepresentasi batas DAS yang kurang akurat (Yang et al., 2014). Infrastruktur untuk pengukur curah hujan di DAS-DAS Indonesia belum tersedia secara memadai. Begitu juga dengan ketersediaan data landuse dengan resolusi baik yang dapat free access masih langka.

Pada saat tahap kalibrasi dan validasi model juga dibutuhkan data observasi seperti data debit atau data level muka air sungai. Data ini sangat penting sebagai dasar dalam menentukan seberapa baik performa model RRI yang sedang dibangun dalam sebuah DAS. Kurangnya data debit air di daerah tangkapan juga berperan dalam hubungan yang buruk antara aliran sungai harian yang diamati dengan yang disimulasikan (Aduah et al., 2017). Ketersediaan data debit dan muka air di DAS-DAS juga masih kurang dan belum dengan mudah dapat diakses oleh para peneliti. Proses kalibrasi dan validasi model hidrologi telah lama menjadi tantangan bagi komunitas hidrologi yang professional (Marshall et al., 2005). Apabila dikemudian hari tantangan ini dapat selesaikan oleh pihak-pihak terkait maka bukan tidak mungkin kita meningkat jumlah publikasi mengenai permodelan hidrologi RRI. Permodelan yang sudah dibangun

dan dipublikasi akan menjadi dasar dalam mengambil langkah untuk pengelolaan DAS atau manajemen sumberdaya air. Seperti yang kita ketahui bahwa permodelan seperti RRI model dengan kemampuannya dapat membantu dalam pengambilan keputusan terbaik dalam usaha mengelola DAS skala besar.

Kelangkaan data merupakan tantangan utama untuk pemodelan hidrologi di Indonesia. Peningkatan jumlah infrastruktur pengukur data klimatologi dan hidrologi terus dilakukan oleh pemerintah untuk menghadapi masalah ini. Disamping itu, teknik penginderaan jauh akan menjadi solusi alternatif dalam membangkitkan data-data yang dibutuhkan dalam permodelan hidrologi. Teknik penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan peforma model di daerah tangkapan air yang tidak terukur atau yang tidak terukur dengan baik (Milzow et al., 2011). Meningkatnya ketersediaan data mendorong penggunaan teknik kalibrasi baru yang dapat memanfaatkan informasi tambahan tentang daerah aliran sungai (Manfreda et al., 2018).

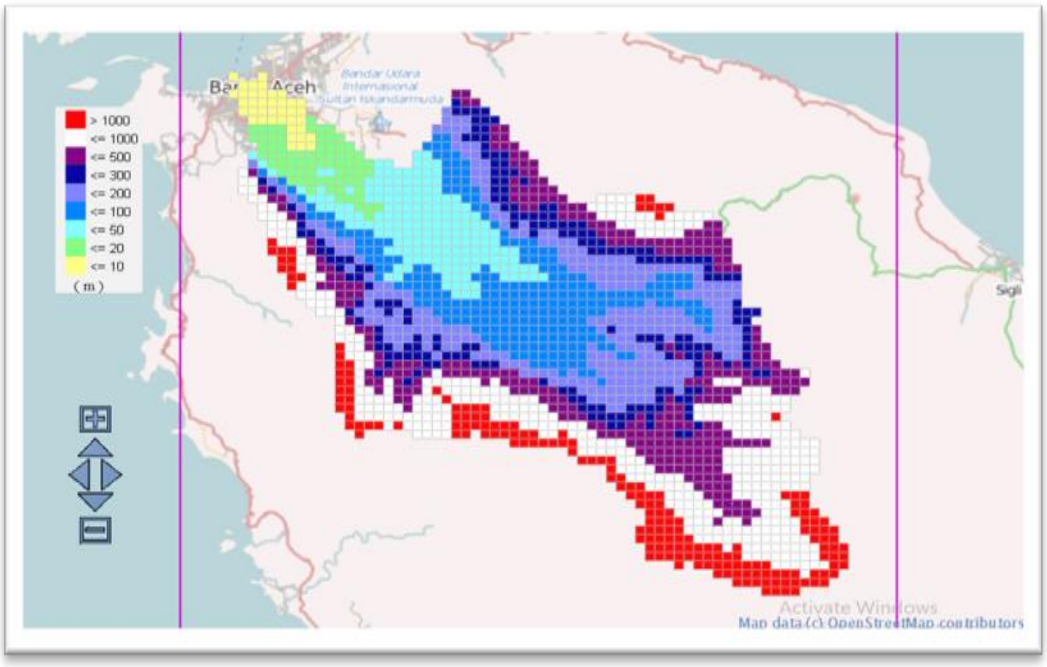
E. Applikasi RRI Model di DAS Krueng Aceh

Setelah diuji RRI Model dibeberapa DAS di Indonesia dan menunjukam performa model yang relatif baik, maka DAS Krueng Aceh dapat dipilih sebagai DAS yang akan dimodelkan untuk dihitung potensi ketersediaan air dalam suatu DAS. DAS ini akan digunakan sebagai pilot proyek dalam menghitung ketersediaan dan kebutuhan air untuk seluruh wilayah Indonesia.

Input Data untuk Model RRI

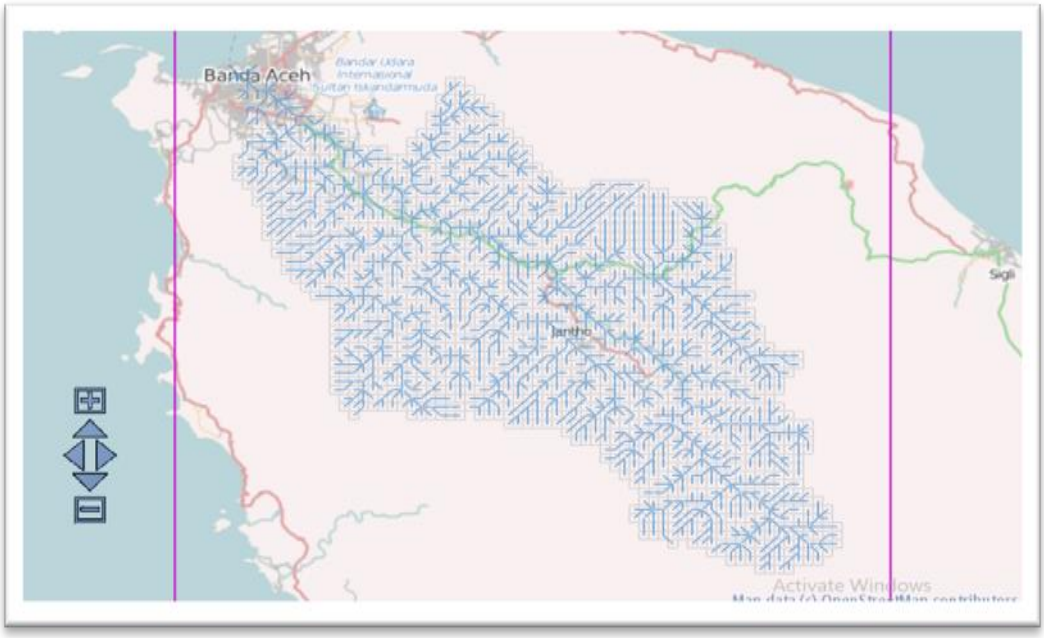
Data Topografi

Data topografi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data topografi yang diperoleh dari HydroSHEDS (Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales). HydroSHEDS menyediakan DEM dari 15s dan 30s, namun pada penelitian ini DEM yang digunakan adalah DEM dengan 15s seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.

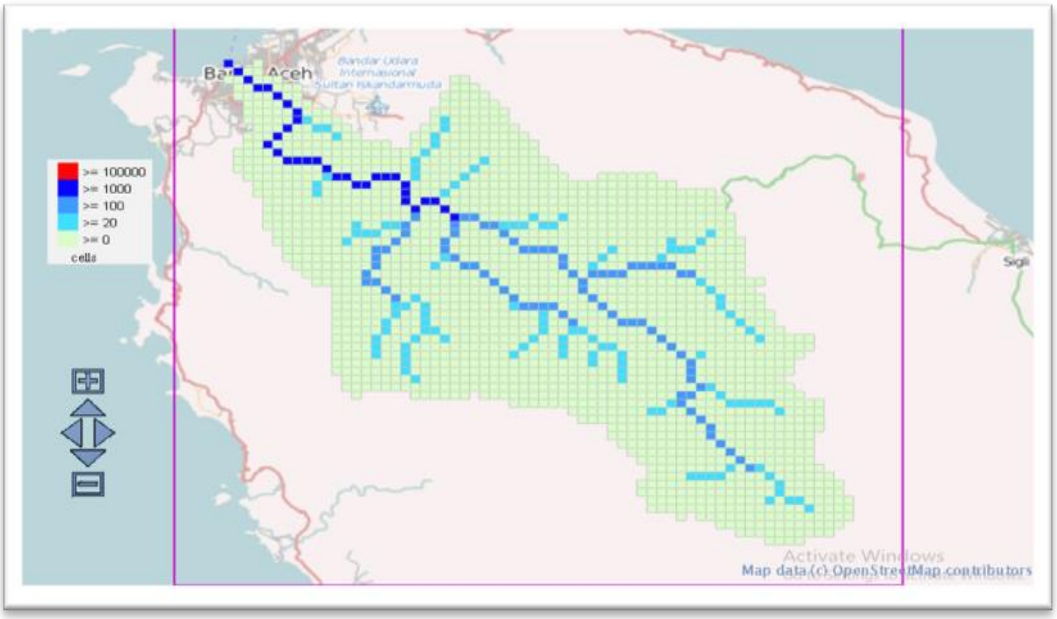


Gambar 6 Data Topografi DEM

DEM yang digunakan dalam penelitian ini diolah menjadi topografi kemudian data tersebut diolah Kembali menjadi jaringan sungai seperti Gambar 7. Gambar 8 merupakan hasil pengolahan data topografi menjadi data arah dan jumlah aliran.



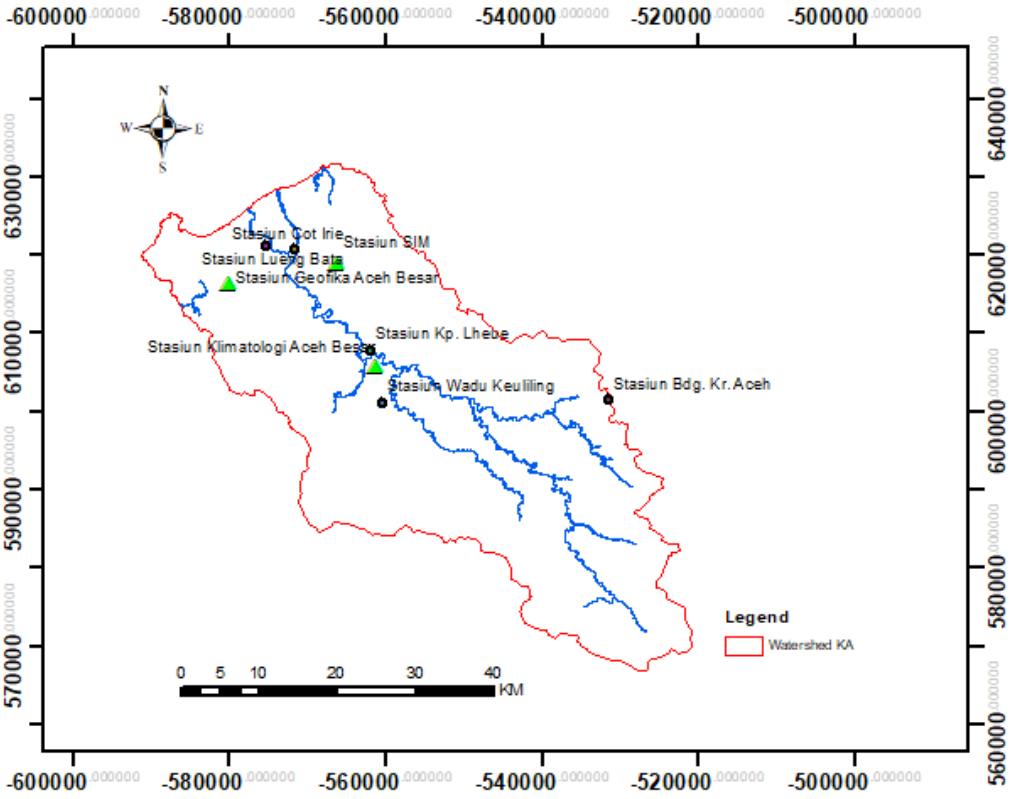
Gambar 7 Data Topografi DIR



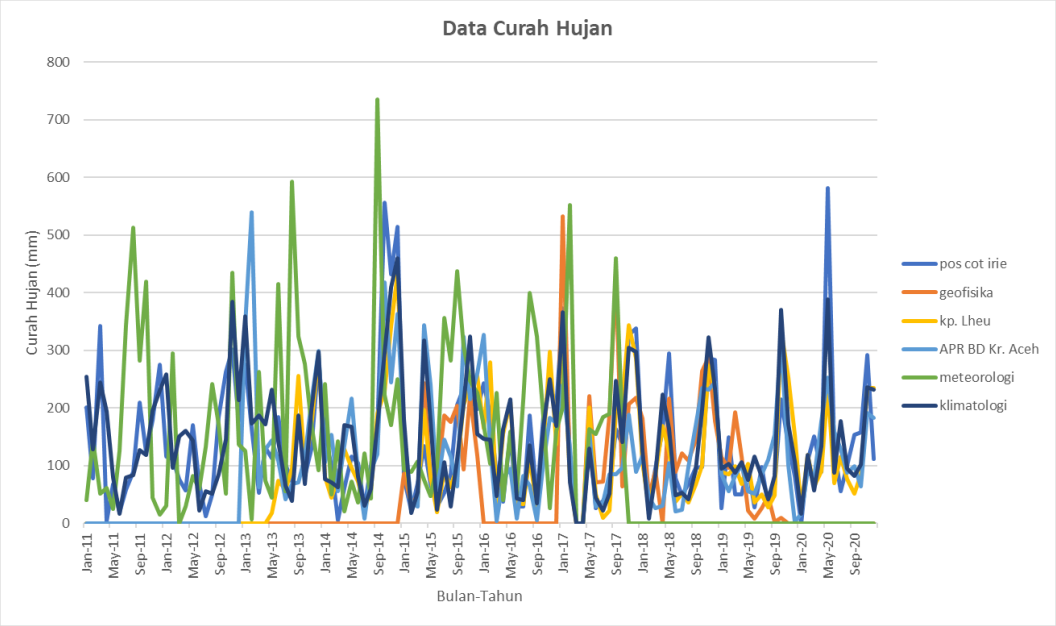
Gambar 8 Data Topografi ACC

Data Curah Hujan

Data curah hujan merupakan data yang sangat penting pada input data RRI model, kekurangan data curah hujan sangat mempengaruhi hasil simulasi. Pada penelitian ini data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian yang terdiri dari 7 stasiun curah hujan dengan jangka waktu 10 tahun dari tahun 2011 hingga tahun 2020 dengan kisaran 3.635 baris data. Data curah hujan harian ini berasal dari website BWS (Badan Wilayah Sungai) dan BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi Geofiska). Pada input curah hujan RRI model telah disediakannya metode Thiessen Polygon sebagai kehilangannya titik grid dalam mempersiapkan data curah hujan.



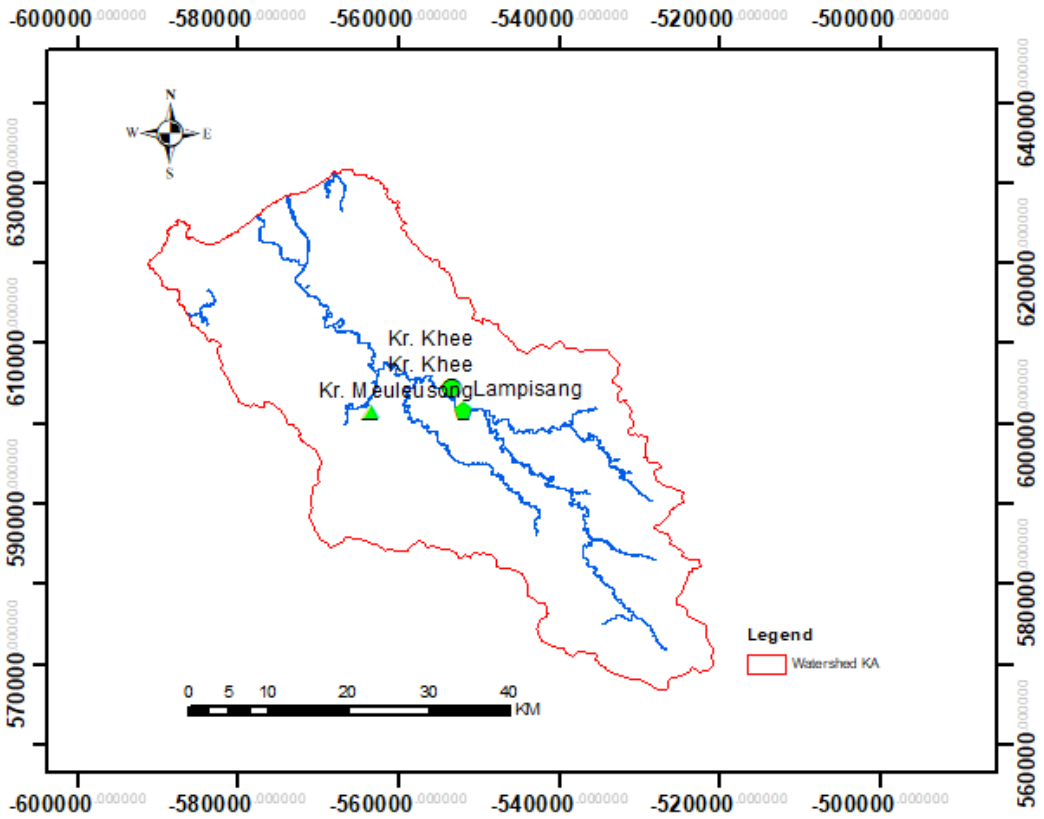
Gambar 9 Lokasi Sebaran Stasiun Curah Hujan



Gambar 10 Grafik Data Curah Hujan

Kalibrasi Model

Pada RRI Model ini kalibrasi dilakukan dengan menggunakan Coefficient of determination atau R^2 kalibrasi ini dilakukan dengan mengevaluasi set parameter yang terdapat pada RRI model. Parameter pada RRI model dapat dilihat pada Tabel dibawah ini. Kalibrasi dan validasi digunakan data observasi debit sungai. Stasiun pengukur debit sungai yang ada didalam DAS Krueng Aceh sebanyak 3 statiun yang memiliki rekaman data yang ada. Namun setelah dilakukan cek kelayakan dan kecocokan penggunaan data debit hanya data di stasiun



Gambar 11 Stasiun debit Sungai Krueng Aceh

Dalam proses kalibrasi dan validasi, pengaturan parameter - parameter hidrologi dilakukan secara manual di model RRI. Ada tujuh parameter yang di trial-error untuk proses kalibrasi dan validasi seperti yang ada dalam Tabel dibawah ini.

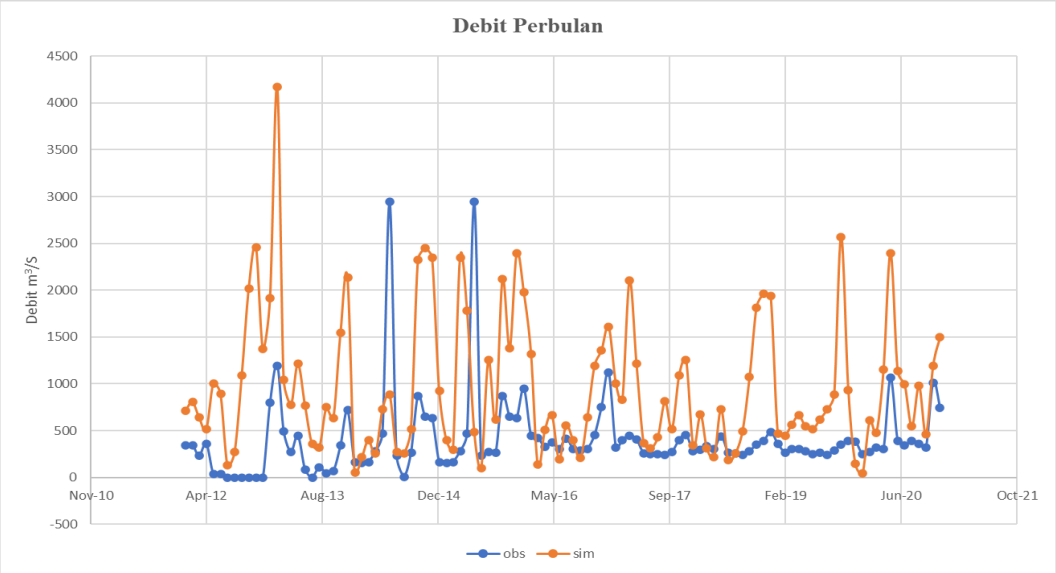
Tabel 2 Parameter Kalibrasi

No	Parameter	Nilai
1	ns river	4.000-1
2	width c	9.80d-1
3	width s	7.90d-1
4	depth c	9.50d-1
5	depth s	2.00d-1
6	ns slope	9.000d0
7	soil depth	1.000d0

F. Ketersediaan Sumberdaya Air

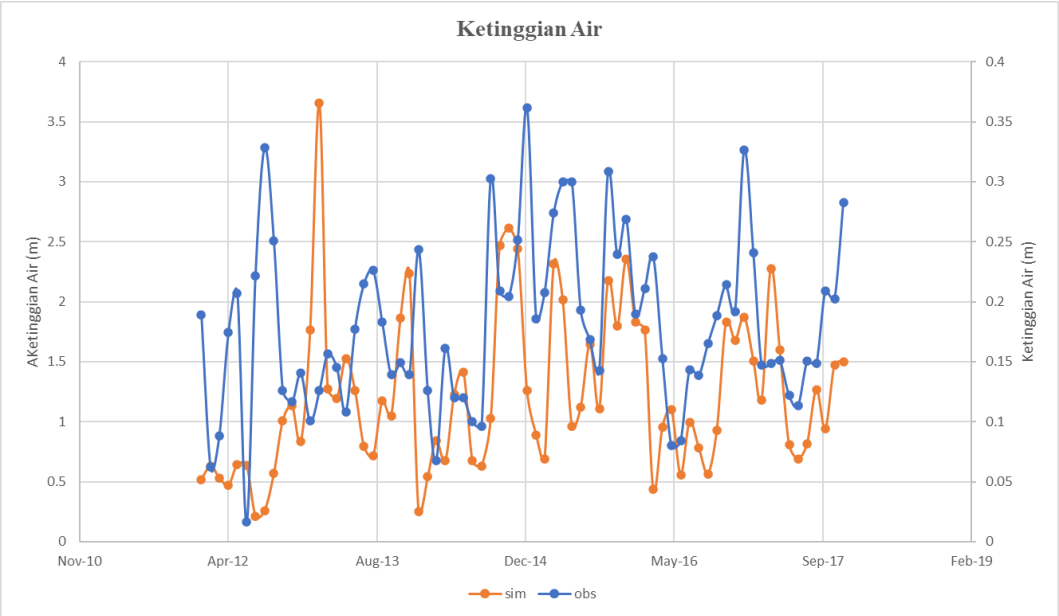
Ouput dari RRI Model

Hasil simulasi lainnya yang dihasilkan oleh RRI model adalah debit ketersedaian air di DAS Krueng Aceh. Dimana debit yang dihasilkan dalam bentuk grafik. Hasil simulasi dapat dilihat pada **Gambar 12.** Pada gambar tersebut merupakan perbandingan debit observasi stasiun lampisang dengan debit hasil simulasi. Hasil simulasi menunjukkan debit tertinggi terjadi pada bulan februari 2013 dengan debit mencapai 4168.42m^3/s dan debit terendah pada Januari 2020 dengan debit mencapai 40,9m^3/s, sedangkan pada debit observasi debit tertinggi terjadi pada bulan juni 2014 dan juni 2015 dengan nilai masing masing mencapai 2944.27m^3/s dan debit terendah terjadi pada Juli, Agustus, November,oktober, dan desember dengan debit mencapai 12,0m^3/s.



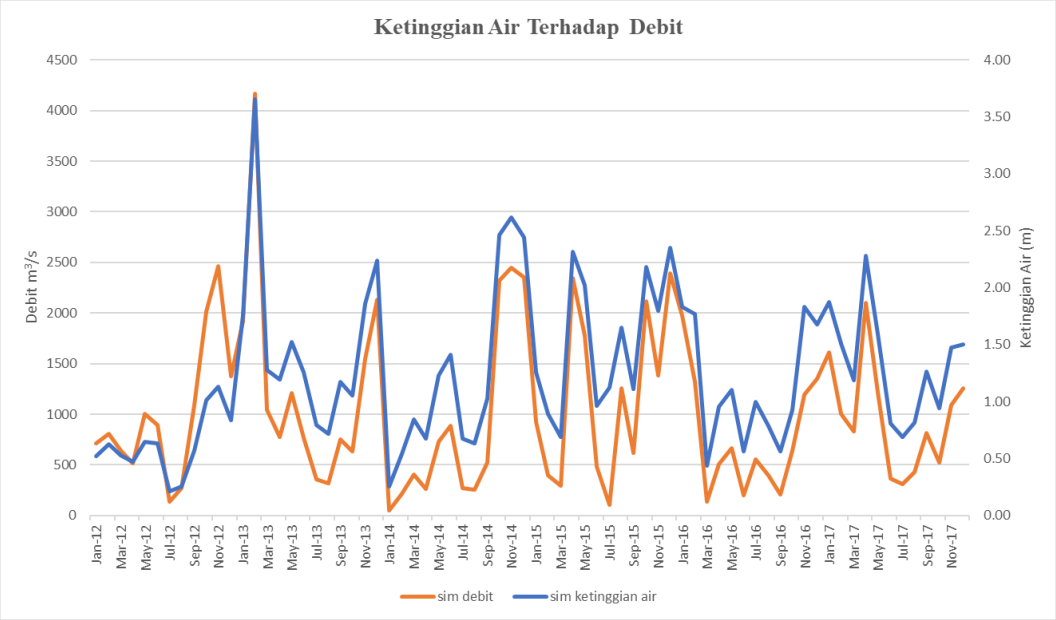
Gambar 12 Grafik Perbandingan Debit Antara Simulasi Dan Observasi

Hasil simulasi selanjutnya yang dihasilkan oleh RRI model adalah ketinggian air. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 13. Pada gambar tersebut menunjukkan perbandingan antara ketinggian air simulasi dan tinggi muka air observasi stasiun meulusong. Hasil simulasi ketinggian air tertinggi terjadi pada Februari 2013 dengan tinggi 3.6 m dan ketinggian air terendah pada Juli 2012 dengan tinggi 0,21 m sedangkan pada observasi ketinggian air tertinggi pada Januari 2015 dengan tinggi 0.36 m dan ketinggian air terendah pada Juni 2012 dengan tinggi 0,01 m.



Gambar 13 Grafik Perbandingan Ketinggian Air

Hasil simulasi lain pada RRI Model ini adalah grafik ketinggian air tehadap debit. Hasil simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 14. Ketinggian air dan debit tertinggi terjadi pada bulan februari 2013 dengan nilai ketinggian air 3,66 m dan nilai debit 4168,42 m^3/s dan ketinggian air dan debit terendah terjadi pada bulan januari 2014 dengan nilai ketinggian air 0,25 m dan debit 52,72 m^3/s.



Gambar 14 Grafik Ketinggian Air Terhadap Debit

Adapun kesimpulan pada penelitian Ini adalah Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa genangan tertinggi dalam periode waktu tersebut terdapat pada tahun 2011. Hasil simulasi menunjukkan debit tertinggi terjadi pada bulan februari 2013 dengan debit mencapai 4168.42m3/s dan debit terendah pada Januari 2020 dengan debit mencapai 40,9m3/s, sedangkan pada debit observasi debit tertinggi terjadi pada bulan juni 2014 dan juni 2015 dengan nilai masing masing mencapai 2944.27m3/s dan debit terendah terjadi pada Juli, Agustus, November,oktober, dan desember dengan debit mencapai 12,0m3/s.

Hasil simulasi ketinggian air tertinggi terjadi pada Februari 2013 dengan tinggi 3.6 m dan ketinggian air terendah pada Juli 2012 dengan tinggi 0,21 m sedangkan pada observasi ketinggian air tertinggi pada Januari 2015 dengan tinggi 0.36 m dan ketinggian air terendah pada Juni 2012 dengan tinggi 0,01 m.

Ketinggian air dan debit tertinggi terjadi pada bulan februari 2013 dengan nilai ketinggian air 3,66 m dan nilai debit 4168,42 m^3/s dan

ketinggian air dan debit terendah terjadi pada bulan januari 2014 dengan nilai ketinggian air 0,25 m dan debit 52,72 m3/s.

G. Proyeksi Jumlah Penduduk

Tahap penelitian selanjutnya dilakukan proyek jumlah penduduk dengan metode *Cohort-Component Population Projection* dalam skala DAS. DAS Krueng Aceh terdapat 2 kabupaten/kota yaitu kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh.

Data dan Skenario untuk Proyeksi Penduduk

Dalam perhitungan proyeksi penduduk pada kajian ini digunakan tiga pendekatan, yaitu pendekatan model aritmatika, geometrik, dan metode komponen kohort. Untuk pendekatan model aritmatika dan geometrik digunakan dua tahun data jumlah penduduk sebagai acuan, yaitu jumlah penduduk tahun 2015 (SUPAS) dan tahun 2020 (Sensus). Sementara itu untuk proyeksi menggunakan metode komponen kohort digunakan data jumlah penduduk menurut Sensus 2020 sebagai data tahun dasar. Periode proyeksi yang dihitung adalah selama 50 tahun, yaitu 2020 s.d 2070. Untuk mendukung perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode komponen kohort, diperlukan sejumlah data dan referensi lainnya, antara lain: (a) Hasil Proyeksi TFR dan ASFR menurut Sensus 2019; (b) Data jumlah penduduk berdasarkan proyeksi BPS 2015 s.d 2025; (c) Data estimasi angka harapan hidup/life expectancy (LE/E0); dan (d) Tabel hayat/life table Coale-Demeny model West.

Tabel 3 Skenario untuk Proyeksi Penduduk Menggunakan Metode Komponen Kohort

Skenario	Level Dampak Intervensi	TFR	ASFR	AHH	Migrasi
A	Rendah	TFR konstan pada nilai tahun dasar	Pola ASFR tidak berubah	AHH konstan pada nilai tahun dasar	Pola migrasi tidak berubah
B	Menengah	Tren TFR menurun mengikuti pola masa lalu dan akan konstan setelah mencapai angka 2,1	Pola ASFR tidak berubah	Tren AHH meningkat mengikuti pola perubahan masa lalu	Pola migrasi tidak berubah
C	Tinggi	Tren TFR menurun lebih curam hingga mencapai nilai 2,1 pada tahun 2030 dan menjadi konstan setelahnya	Pola ASFR tidak berubah	Tren AHH meningkat mengikuti pola perubahan masa lalu	Pola migrasi tidak berubah

Dalam perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode komponen kohort digunakan tiga alternatif skenario. Skenario A denngan level dampak intervensi rendah menggambarkan target pesimis pada efektifitas program pengendalian penduduk, yaitu dengan mengasumsikan pola tingkat fertilitas yang konstan namun juga dengan mengasumsikan tidak ada perbaikan pada tingkat mortalitas. Skenario B menggambarkan target realistis, dimana mengasumsikan tren tingkat fertilitas dan mortalitas bergerak menuju arah yang lebih ideal mengikuti pola pergerakan masa lalunya. Sementara itu skenario C menggambarkan target optimis pada efektifitas program pengendalian penduduk, dimana mengasumsikan tingkat fertilitas akan mencapai posisi ideal pada tahun 2030 (tahun akhir SDGs 2030). Keterangan lebih lengkap mengenai

asumsi-asumsi dari ketiga skenario tersebut dapat diperhatikan pada Tabel 3.

Data Penduduk Tahun Dasar

Dalam perhitungan proyeksi penduduk digunakan suatu data penduduk tahun dasar yang menjadi acuan proyeksi. Data penduduk tahun dasar yang digunakan dalam kajian ini adalah data jumlah penduduk menurut Sensus 2020. Struktur jumlah penduduk menurut kelompok umur di Banda Aceh dan Aceh Besar dapat diperhatikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Jumlah Penduduk Menurut Kolompok Umur Tahun 2020

Kelompok Umur	Banda Aceh			Aceh Besar		
	Laki-Laki	Perempuan	Jumlah	Laki-Laki	Perempuan	Jumlah
0-4	12.948	12.503	25.451	19.748	18.749	38.497
5-9	12.341	11.746	24.087	19.310	18.745	38.055
10-14	12.049	11.557	23.606	20.574	19.098	39.672
15-19	9.260	8.871	18.131	17.375	15.843	33.218
20-24	10.080	9.681	19.761	15.984	15.326	31.310
25-29	10.837	11.627	22.464	16.635	17.058	33.693
30-34	11.643	12.436	24.079	16.676	17.018	33.694
35-39	11.104	10.833	21.937	16.055	16.349	32.404
40-44	9.402	8.477	17.879	14.628	13.943	28.571
45-49	7.784	7.464	15.248	12.933	12.438	25.371
50-54	6.284	6.442	12.726	10.377	10.105	20.482
55-59	5.303	5.007	10.310	8.580	8.110	16.690
60-64	3.649	3.364	7.013	5.939	5.829	11.768
65-69	2.464	2.496	4.960	4.234	4.795	9.029
70-74	1.296	1.526	2.822	2.670	3.381	6.051
75+	991	1.434	2.425	2.710	4.320	7.030
Total	**127.435**	**125.464**	**252.899**	**204.428**	**201.107**	**405.535**

Gambaran mengenai struktur penduduk dapat diperhatikan pada Tabel 5. Dapat dilihat bahwa median umur penduduk Banda Aceh dan Aceh Besar berturut-turut adalah 27,93 dan 27,77 tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur penduduk di kedua wilayah termasuk

kategori menengah/intermediate. Selanjutnya statistik rasio jenis kelamin di kedua wilayah juga cukup identik, dimana jumlah penduduk laki-laki sedikit lebih banyak dari pada penduduk perempuan. Statistik berikutnya yaitu rasio ketergantungan yang menggambarkan ketergantungan penduduk kelompok umur tidak produktif kepada penduduk kelompok umur produktif. Rasio ketergantungan penduduk Banda Aceh sebesar 49,16, berarti setiap 100 orang penduduk produktif mempunyai beban tanggungan rata-rata 49,16 orang penduduk tidak produktif. Sementara itu Rasio ketergantungan penduduk Aceh besar sebesar 51,77, berarti setiap 100 orang penduduk produktif mempunyai beban tanggungan rata-rata 51,77 orang penduduk tidak produktif.

Tabel 5 Struktur Penduduk Tahun 2020

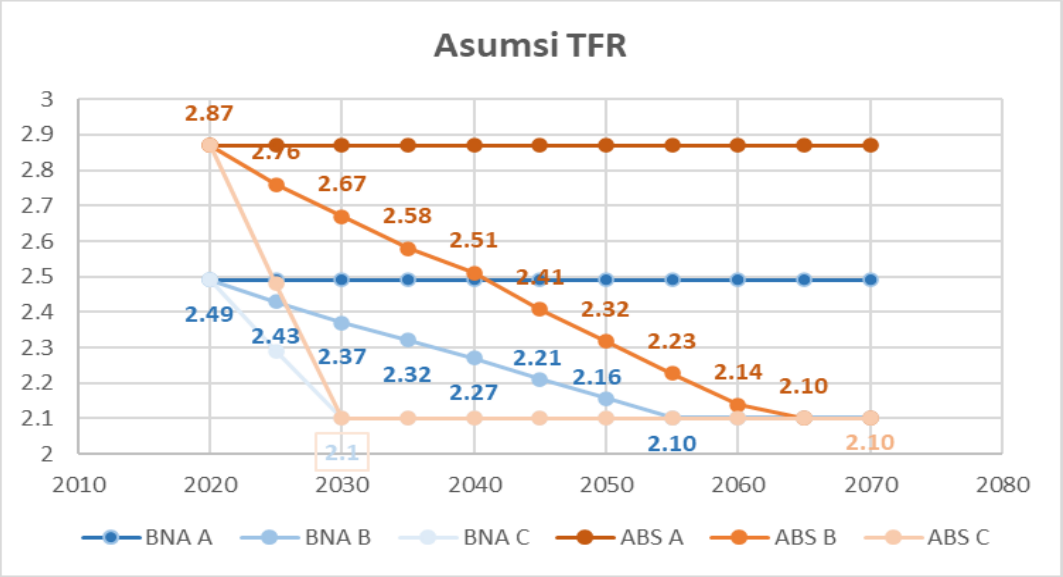
Variabel	Banda Aceh	Aceh Besar
0-14	73.144	116.224
15-64	169.548	267.201
65+	10.207	22.110
Median Umur *(Tahun)*	27,93	27,77
Rasio Jenis Kelamin *(Laki-laki/100 Penduduk Perempuan)*	101,57	101,65
Rasio Ketergantungan *(Jiwa/100 Penduduk Umur Produktif)*	49,16	51,77
Kepadatan Penduduk *(Jiwa/Km²)*	4.122	137
Kepadatan Penduduk menurut Wilayah Bukan Hutan *(Jiwa/Km²)*	4.122	317

Statistik selanjutnya adalah kepadatan penduduk. Berdasarkan Tabel 5 kepadatan penduduk Banda Aceh adalah sebesar 4.122 Jiwa/Km2, dimana termasuk dalam kategori perkotaan padat (dense urban) menurut klasifikasi the global UN WPP Poulation Density. Sementara itu kepadatan penduduk Aceh Besar sebesar 137 Jiwa/Km2. Namun karena wilayah Aceh Besar terdiri dari luasan kawasan hutan yang cukup besar, maka kita perlu menyesuaikan statistik kepadatan penduduk dengan

mengeluarkan luasan wilayah hutan. Statistik kepadatan penduduk Aceh Besar terkoreksi adalah sebesar 317 Jiwa/Km2, dimana nilai ini termasuk ke dalam kategori sub urban. Hal ini bersesuaian dengan lokasi Kabupaten Aceh Besar yang merupakan wilayah satelit Kota Banda Aceh.

Asumsi Fertilitas

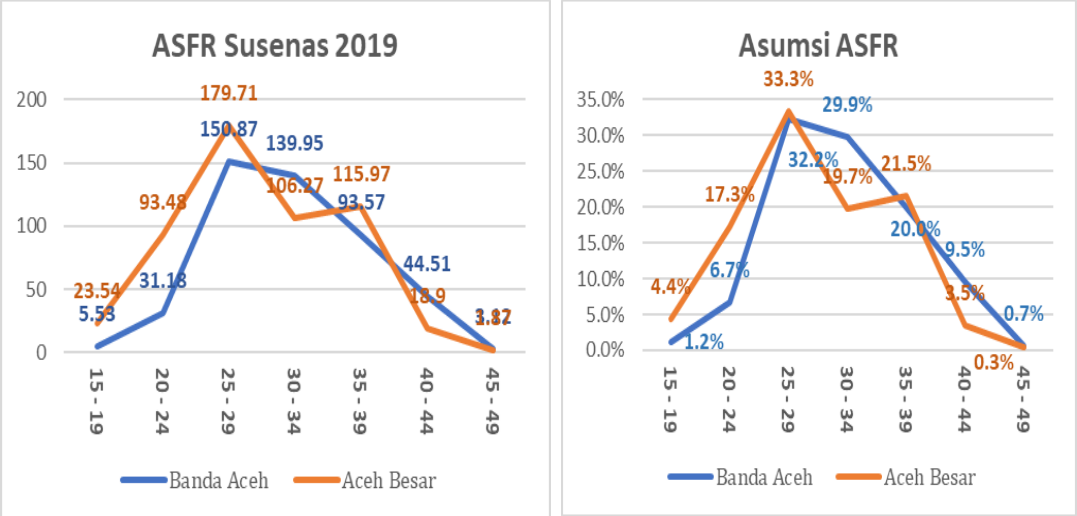
Komponen pertama yang diperlukan dalam perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode komponen kohort adalah tingkat fertilitas. Tingkat fertilitas penduduk Aceh Besar lebih tinggi dibandingkan dengan Banda Aceh. Menurut publikasi Susenas 2019, proyeksi angka kelahiran total/total fertility rate (TFR) Banda Aceh dan Aceh Besar pada tahun 2020 masing-masing adalah sebesar 2,49 dan 2,87. Pada tahun 2040 TFR kedua wilayah diproyeksikan berada pada angka 2,27 untuk Banda Aceh dan 2,51 untuk Aceh Besar. Angka-angka tersebut diinterpretasikan sebagai rata-rata jumlah anak yang dilahirkan setiap penduduk wanita selama masa suburnya (umur 15 s.d 49 tahun). Kondisi ini masih belum mencapai replacement level ideal, yaitu pertumbuhan penduduk seimbang dengan TFR sebesar 2,1.



Gambar 15 Asumsi Total Fertility Rate (TFR)

Untuk keperluan perhitungan proyeksi, asumsi TFR dapat diperhatikan pada Gambar 15. Untuk skenario A, digunakan asumsi bahwa TFR tahun 2020 akan konstan sampai akhir tahun proyeksi. Selanjutnya untuk skenario B, asumsi TFR akan mengikuti pola pergerakan masa lalu dan akan konstan setelah mencapai replacement level ideal, TFR = 2,1. Sementara itu untuk skenario C, mengasumsikan TFR dapat menurun signifikan hingga berhasil mencapai replacement level ideal pada tahun 2030 dan akan menjadi konstan setelahnya.

Statistik lain yang diperlukan dalam asumsi fertilitas adalah angka kelahiran menurut kelompok umur/age specific fertility rate (ASFR). Pada gambar 16 dapat dilihat pola ASFR penduduk Banda Aceh dan Aceh Besar. Menurut Susenas 2019 terlihat bahwa tingkat kelahiran tertinggi untuk kedua wilayah sama-sama berada pada kelompok usia ibu 25 s.d 29 tahun. Tingkat kelahiran usia dini di Aceh Besar masih cukup tinggi dibandingkan dengan Banda Aceh yaitu mencapai 23 s.d 24 kelahiran bayi per 1000 ibu usia 15 s.d 19 tahun. Angka ini lebih dari empat kali lebih tinggi dibandingkan kondisi Banda Aceh. Untuk kelompok umur ibu 20 s.d 24 tahun tingkat kelahiran bayi di Aceh Besar juga cukup tinggi, yaitu sekitar tiga kali lebih tinggi dibandingkan dengan Banda Aceh. Selanjutnya untuk kelompok umur ibu 40 s.d 44 tahun tingkat kelahiran bayi di Banda Aceh justru lebih tinggi, yakni mencapai lebih dari dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan Aceh Besar. Sementara itu untuk kelompok umur akhir masa subur, tingkat kelahiran di kedua wilayah sama-sama sangat rendah.

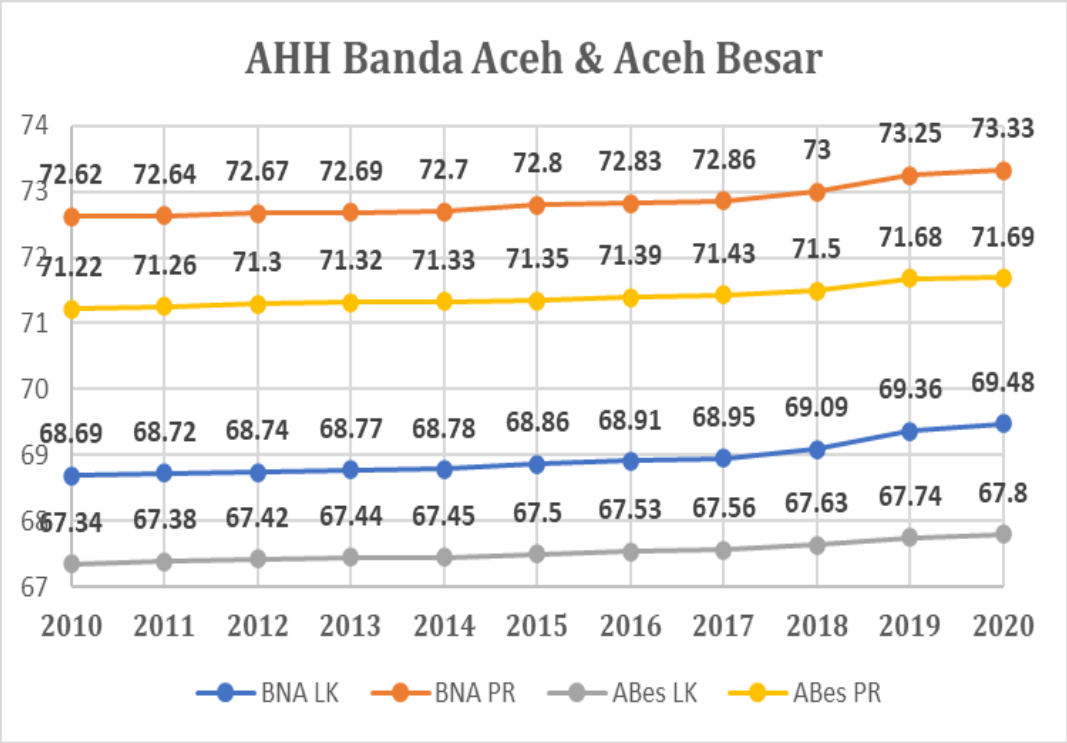


Gambar 16 Asumsi Age Specific Fertility Rate

Untuk keperluan perhitungan proyeksi penduduk, angka ASFR perlu dikonversi ke dalam satuan persen sebagaimana yang tergambar pada Gambar 16. Asumsi ASFR yang digunakan untuk semua skenario adalah sama, yaitu dengan mengikuti pola ASFR menurut Susenas 2019.

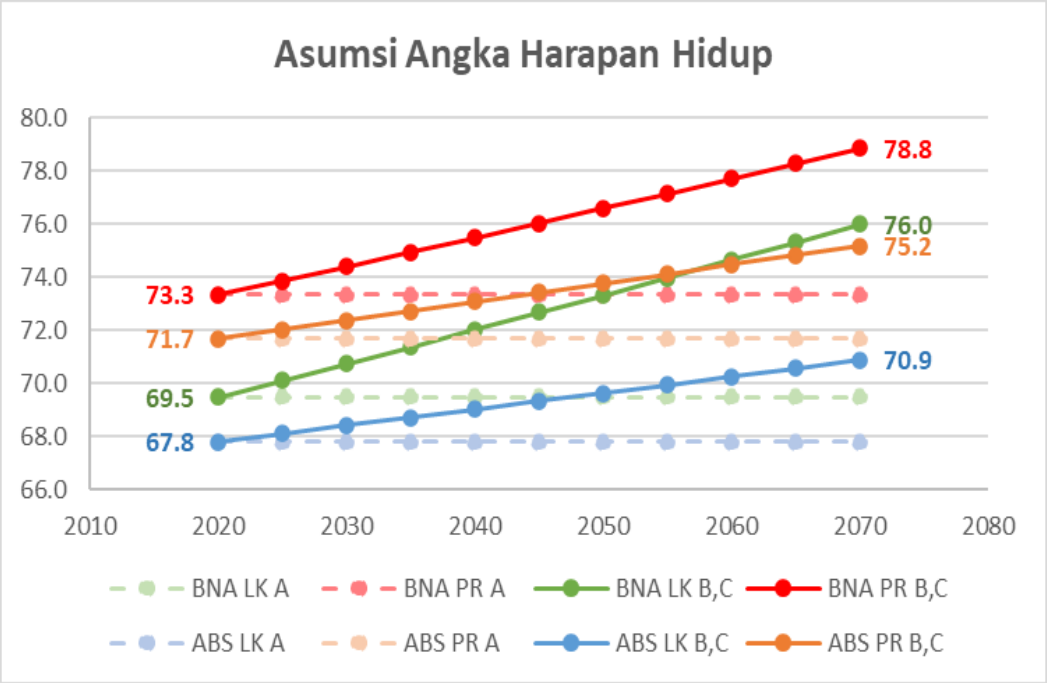
Asumsi Mortalitas

Dalam perhitungan proyeksi penduduk ini, asumsi mortalitas diwakili oleh nilai survial ratio yang dirujuk dari model tabel hayat (life table) Coale-Demeny West. Tabel hayat tersebut disusun berdasarkan tingkal mortalitas (level of mortality) tertentu, yang dicirikan oleh statistik angka kematian bayi (AKB)/infant mortality rate (IMR). Namun dikarenakan ketersedian statistik AKB cukup terbatas, maka digunakan acuan lain yang dapat mendekati, yaitu statistik angka harapan hidup (AHH)/life expectancy (LE/E0).



Gambar 17 Pergerakan AHH dalam periode 2010 s.d 2020

Berdasarkan publikasi BPS tahun 2021, AHH Kota Banda Aceh tahun 2020 untuk laki-laki adalah sebesar 69,5 tahun, sedangkan untuk perempuan adalah sebesar 73,3 tahun. Sementara itu untuk Kabupaten Aceh Besar, AHH penduduk laki-laki adalah sebesar 67,8, sedangkan AHH penduduk perempuan adalah 71,7. Hal ini berarti bahwa tingkat harapan hidup penduduk Banda Aceh cenderung lebih baik dibandingkan penduduk Aceh Besar. Angka ini sangat berasosiasi dengan kualitas lingkungan hidup dan fasilitas kesehatan yang dimiliki oleh masing-masing wilayah.



Gambar 18 Asumsi Angka Harapan Hidup/Life Expectancy (E_0)

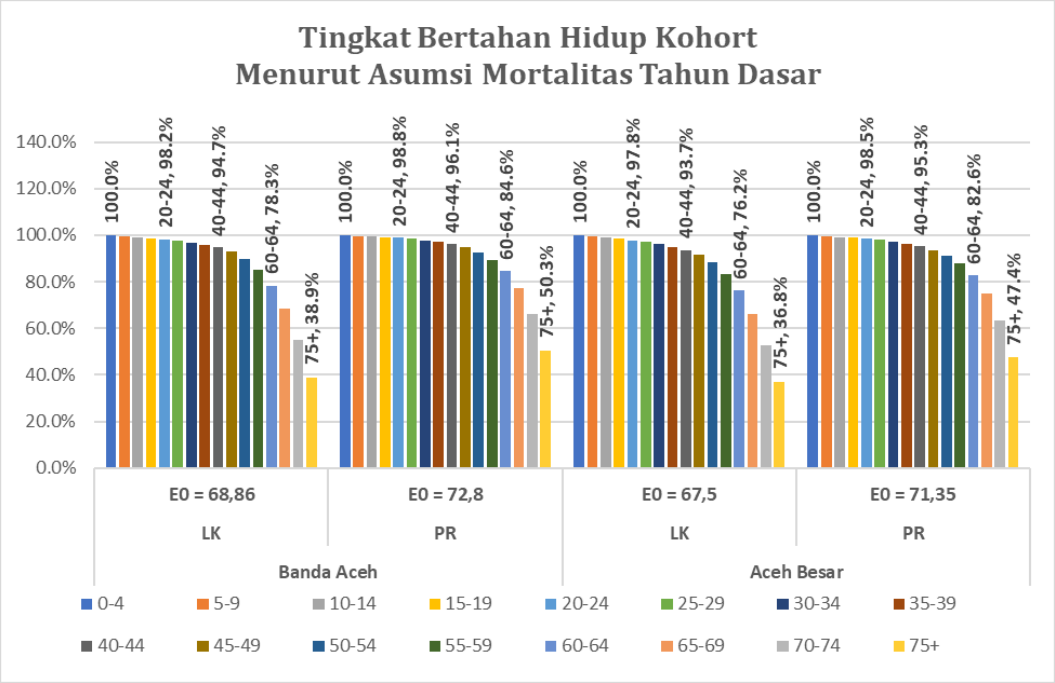
Selanjutnya untuk keperluan perhitungan proyeksi, asumsi AHH dapat diperhatikan pada Gambar 18. Untuk skenario A, digunakan asumsi bahwa AHH tahun 2020 akan konstan sampai akhir tahun proyeksi. Selanjutnya untuk skenario B dan C, AHH akan mengikuti pola pergerakan masa lalunya, dimana dalam hal ini digunakan proyeksi geometrik.

Tabel 6 Interpolasi Survival Rate (SR) dengan Asumsi Angka Harapan Hidup (AHH/E_0) berdasarkan Model Life Table Coale-Demeny West

Kelompok Umur	***Survival Ratio*(SR)**			
	Banda Aceh		**Aceh Besar**	
	LK	**PR**	**LK**	**PR**
	AHH/E_0 = 68,86	**AHH/E_0 = 72,8**	**AHH/E_0 = 67,5**	**AHH/E_0 = 71,35**
0-4	0,9944	0,9959	0,9929	0,9947
5-9	0,9972	0,9981	0,9966	0,9976
10-14	0,9963	0,9977	0,9956	0,9971
15-19	0,9937	0,9964	0,9927	0,9955
20-24	0,9929	0,9953	0,9916	0,9942

25-29	0,9925	0,9943	0,9912	0,9930
30-34	0,9910	0,9927	0,9894	0,9912
35-39	0,9874	0,9900	0,9854	0,9882
40-44	0,9803	0,9851	0,9777	0,9829
45-49	0,9682	0,9773	0,9649	0,9745
50-54	0,9485	0,9656	0,9444	0,9619
55-59	0,9184	0,9466	0,9132	0,9414
60-64	0,8737	0,9129	0,8672	0,9056
65-69	0,8055	0,8545	0,7978	0,8447
70-74	0,7065	0,7623	0,6975	0,7496
75+	0,5712	0,6253	0,5620	0,6111

Setelah mendapatkan nilai proyeksi AHH, selanjutnya kita menentukan nilai survival ratio menurut kelompok umur dari tabel hayat Coale-Demeny. Karena penyajian AHH pada tabel hayat berupa bilangan bulat/cacah (bukan desimal). Maka untuk menyesuaikan nilai survival ratio berdasarkan nilai AHH hasil proyeksi geometrik yang berupa bilangan desimal maka dilakukan interpolasi linier. Contohnya, AHH/E0 penduduk laki-laki Banda Aceh tahun 2020 sebesar 68,86, akan disesuaikan menggunakan interpolasi linier dari data tabel hayat menurut AHH/E0 = 68 dan AHH/E0 = 69. Contoh nilai survival ratio hasil interpolasi linier untuk posisi nilai AHH tahun 2020 dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 19 Tingat Bertahan Hidup Kohort

Implikasi dari penggunakan nilai survival ratio berdasarkan tabel hayat Coale-Demeny berdasarkan asumsi nilai AHH tahun dasar (tahun 2020) akan menghasilkan pola bertahan hidup sebagaimana digambarkan pada Gambar 19. Tingkat bertahan hidup kohort/kelompok perempuan lebih tinggi dari pada laki-laki. Tingkat bertahan hidup kohort wilayah Banda Aceh lebih tinggi dari pada kohort wilayah Aceh Besar Contoh interpretasi dari Gambar 19 adalah, misalnya untuk penduduk laki-laki Banda Aceh dengan nilai AHH/E0 = 68,86, suatu kohort (kelompok yang lahir disaat yang bersamaan) akan bertahan hidup dengan persentase sebagaimana pada diagram. Anggota kohort yang bertahan hidup hingga pada kelompok umur 40-44 tahun adalah 94,7% dari jumlah saat tahun lahir. Selanjutnya anggota kohort yang masih hidup hingga mencapai kelompok umur 75+ adalah 38,9% dari jumlah saat tahun lahir. Interpretasi serupa juga berlaku untuk pola kohort lainnya.

Asumsi Migrasi

Komponen terakhir yang diperlukan dalam perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode komponen kohort adalah komponen migrasi. Statistik migrasi yang dibutuhkan dalam konteks ini adalah angka migrasi neto menurut jenis kelamin dan kelompok umur. Statistik migrasi ini cukup rumit untuk diperoleh, hal ini dikarenakan keterbatasan dalam pencatatan kependudukan.

Tabel 7 Estimasi Angka Migrasi Risen Neto 2015-2020 menurut Kelompok Umur

Kelompok Umur	Banda Aceh		Aceh Besar	
	LK	PR	LK	PR
0-4	-	-	-	-
5-9	-365	-14	165	122
10-14	61	-274	-174	-142
15-19	209	377	16	-74
20-24	457	363	134	90
25-29	-155	-292	88	190
30-34	-97	-399	-223	-176
35-39	-390	192	184	26
40-44	90	-157	-76	-43
45-49	136	107	-55	38
50-54	-11	-73	26	87
55-59	-246	-101	29	-148
60-64	80	-124	-60	217
65-69	-131	32	242	-705
70-74	-415	-380	-24	356
75+	503	559	278	549
Migrasi Neto	**13.88**	**16.33**	**24.09**	**21.89**

Dihitung menggunakan metode pendugaan tidak langsung berdasarkan data perubahan penduduk menurut Proyeksi BPS 2015-2025

Untuk upaya melibatkan kondisi migrasi dalam perhitungan proyeksi maka digunakanlah pendekatan tidak langsung, yaitu dengan mengestimasi angka migrasi neto dari dua set data jumlah penduduk menurut jenis kelamin dan kelompok umur. Dalam perhitungan ini dua set data yang digunakan adalah data jumlah penduduk menurut jenis kelamin dan kelompok umur tahun 2015 dan 2020 berdasarkan hasil proyeksi BPS tahun 2015 s.d 2025. Dari data tersebut kita dapat mengestimasi angka migrasi risen neto pada periode 2015 s.d 2020 (5 tahun). Angka tersebut diperoleh dengan menghitung selisih jumlah

penduduk menurut kelompok umur tahun 2020 dengan estimasi jumlah penduduk yang bertahan hidup dalam 5 tahun pada kelompok umur yang sama. Jumlah penduduk yang bertahan hidup dihitung dengan acuan survival ratio yang dihitung dengan cara yang sama seperti penjelasan pada bagian asumsi mortalitas. Hasil estimasi angka migrasi risen neto dapat diperhatikan pada Tabel 7.

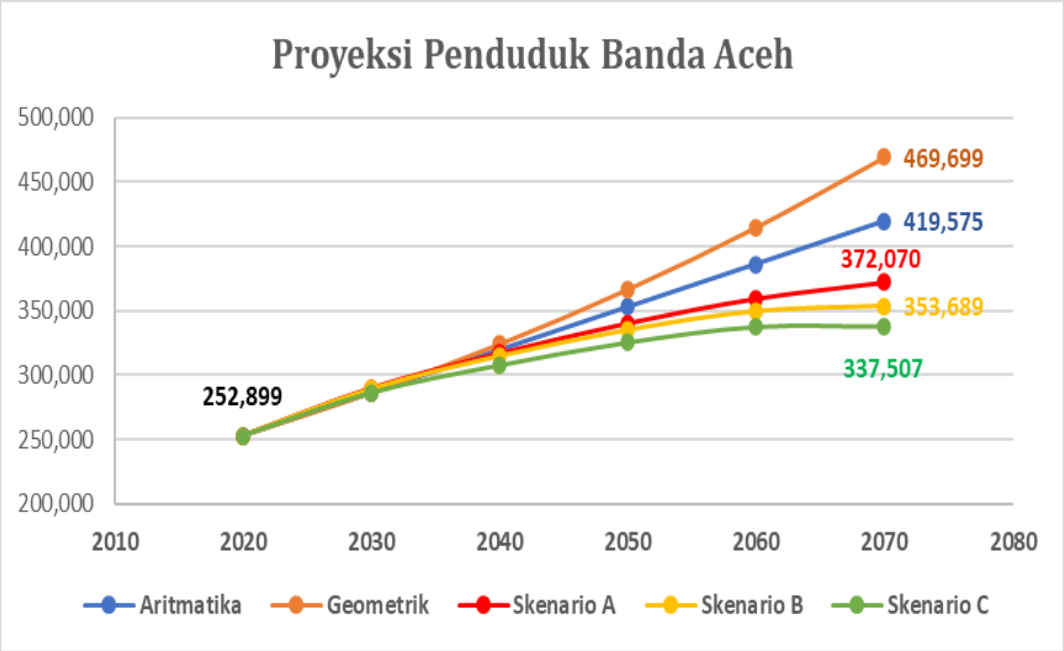
Untuk keperluan perhitungan proyeksi penduduk, asumsi migrasi yang digunakan untuk ketiga skenario adalah sama, yaitu pola migrasi hasil estimasi menggunakan pendekatan tidak langsung pada Tabel 7 dianggap tetap sama hingga akhir tahun proyeksi.

Hasil Proyeksi

Hasil proyeksi penduduk Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar dapat diperhatikan pada Tabel 8. Terlihat bahwa pola proyeksi model geometrik menghasilkan proyeksi jumlah penduduk yang paling tinggi, diikuti model aritmatika dan model komponen kohort.

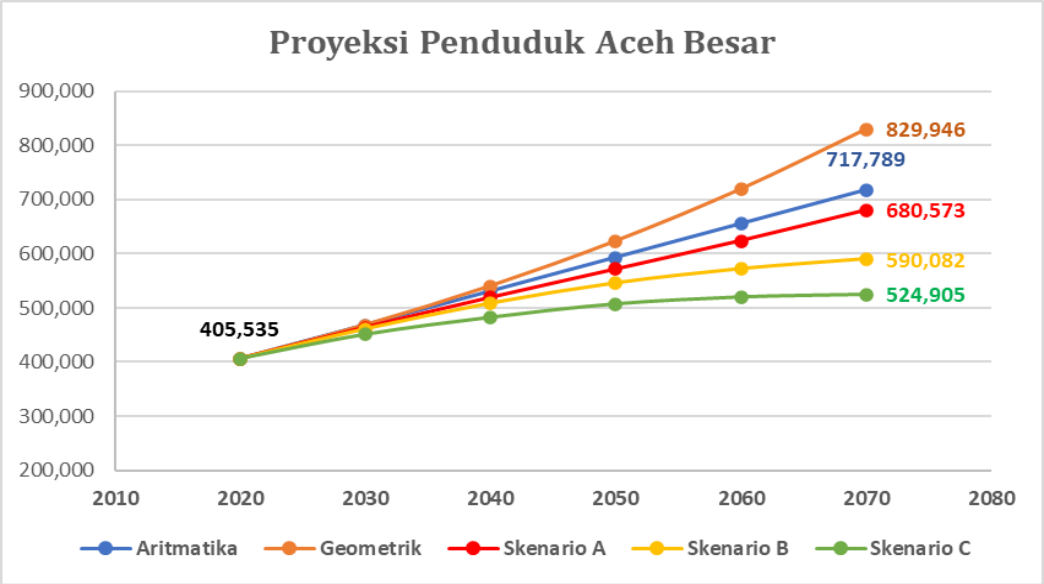
Tabel 8 Hasil Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk

Banda Aceh					
Tahun	**Aritmatika**	**Geometrik**	**Skenario A**	**Skenario B**	**Skenario C**
2020	252.899	252.899	252.899	252.899	252.899
2030	286.234	286.234	289.928	289.215	286.165
2040	319.570	323.964	316.963	314.789	307.423
2050	352.905	366.666	340.384	335.098	325.136
2060	386.240	414.997	359.461	349.678	337.233
2070	419.575	469.699	372.070	353.689	337.507
Aceh Besar					
Tahun	**Aritmatika**	**Geometrik**	**Skenario A**	**Skenario B**	**Skenario C**
2020	405.535	405.535	405.535	405.535	405.535
2030	467.986	467.986	463.460	460.469	450.682
2040	530.437	540.054	518.837	507.974	482.315
2050	592.887	623.220	571.358	545.503	507.246
2060	655.338	719.193	623.933	571.823	520.127
2070	717.789	829.946	680.573	590.082	524.905



Gambar 20 Proyeksi Jumlah Penduduk Kota Banda Aceh

Untuk Kota Banda Aceh proyeksi jumlah penduduk menurut model aritmatika dan geometrik masing-masing adalah mencapai 419.575 dan 469.699 jiwa pada tahun 2070. Peningkatan jumlah penduduk dalam 50 tahun menurut proyeksi kedua model masing-masing adalah 65,9% (model aritmatika) dan 85,7% (model geometrika). Sementara itu untuk model komponen kohort pola pertumbuhan penduduk terlihat melambat dari tahun ke tahun. Hal ini dapat diperhatikan pada pola garis pada grafik yang meskipun meningkat, namun makin lama makin melandai. Model komponen kohort skenario A memroyeksikan jumlah penduduk Kota Banda Aceh sejumlah 372.070 jiwa (meningkat 47,1% dalam 50 tahun) pada tahun 2070. Skenario B menghasilkan proyeksi jumlah penduduk tahun 2070 sejumlah 353.689 jiwa (meingkat 39,8% dalam 50 tahun). Sementara itu model skenario C menghasilkan jumlah penduduk tahun 2070 sejumlah 337.057 (meningkat 33,3% dalam 50 tahun).

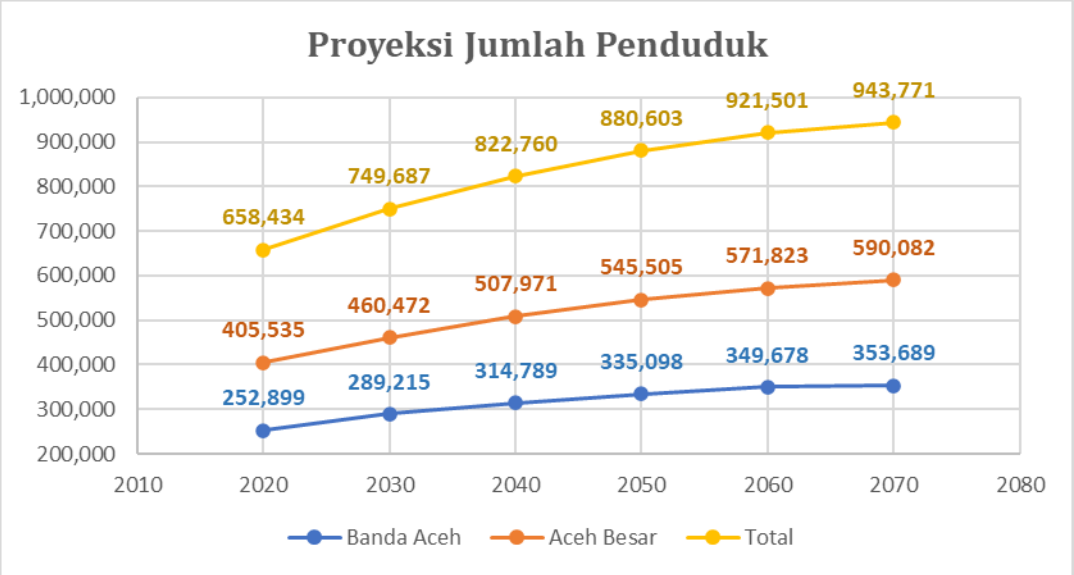


Gambar 21 Proyeksi Jumlah Penduduk Kabupaten Aceh Besar

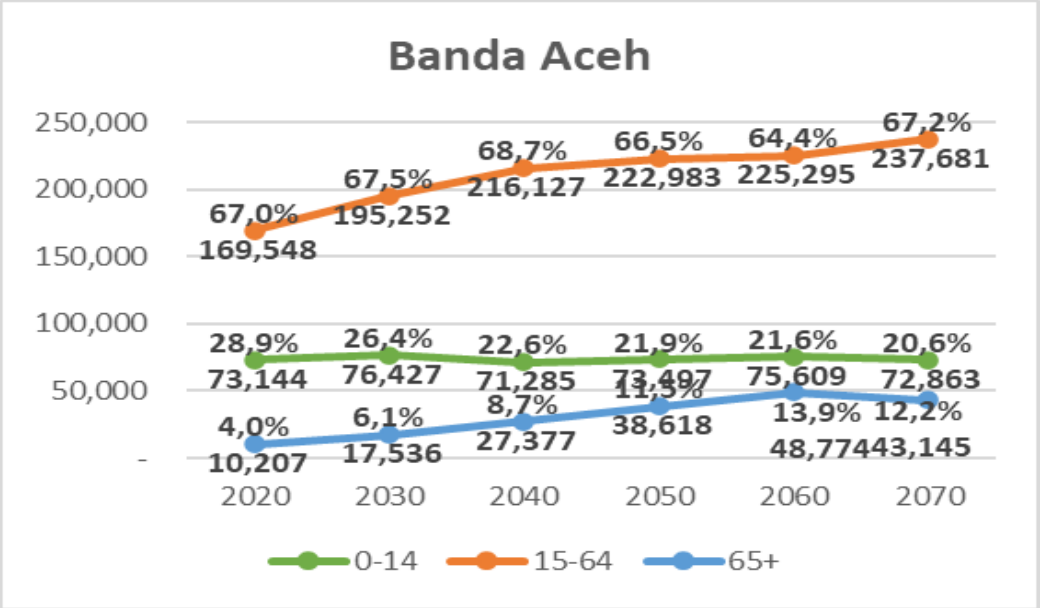
Selanjutnya untuk Kabupaten Aceh Besar, proyeksi jumlah penduduk menurut model aritmatika dan geometrik masing-masing adalah mencapai 829.946 dan 717.789 jiwa pada tahun 2070. Peningkatan jumlah penduduk dalam 50 tahun menurut proyeksi kedua model masing-masing adalah 77,0% (model aritmatika) dan 104,7% (model geometrika). Sementara itu untuk model komponen kohort pola pertumbuhan penduduk terlihat melambat dari tahun ke tahun. Hal ini dapat diperhatikan pada pola garis pada grafik yang meskipun meningkat, namun makin lama makin melandai. Model komponen kohort skenario A memroyeksikan jumlah penduduk Kabupaten Aceh Besar sejumlah 680.573 jiwa (meningkat 67,8 % dalam 50 tahun) pada tahun 2070. Skenario B menghasilkan proyeksi jumlah penduduk tahun 2070 sejumlah 590.082 jiwa (meingkat 45,5% dalam 50 tahun). Sementara itu model skenario C menghasilkan jumlah penduduk tahun 2070 sejumlah 524.905 (meningkat 29,4% dalam 50 tahun).

Hasil Proyeksi Model Komponen Kohort Skenario B

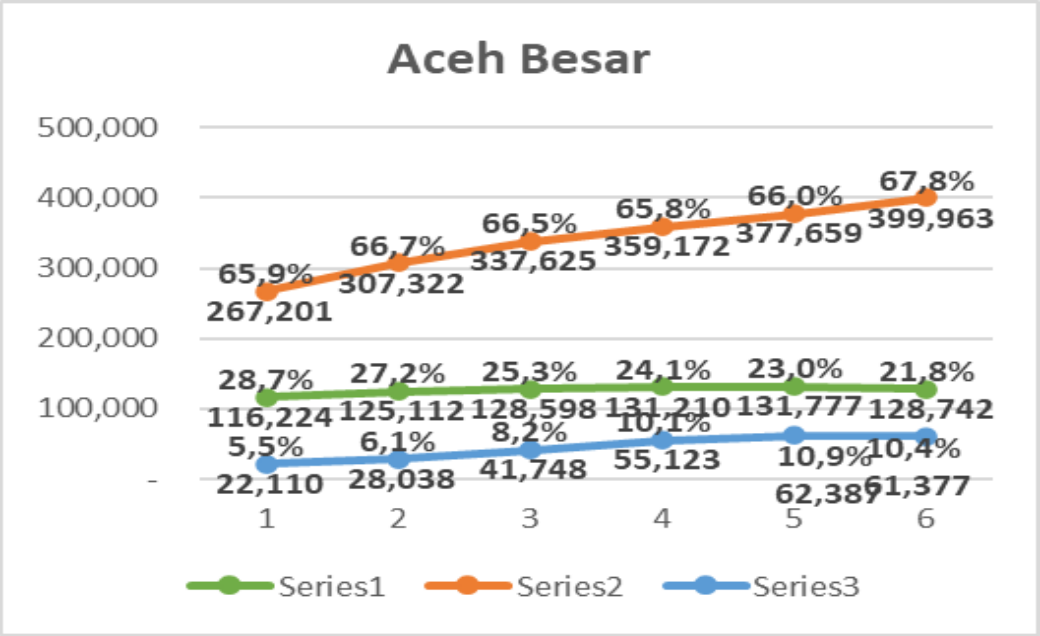
Untuk keperluan eksplorasi dan perhitungan lebih lanjut kita menggunakan hasil proyeksi menurut model komponen kohort cenario B. Hasil proyeksi dengan model ini dianggap sebagai yang paling realistis dibandingkan dengan model proyeksi lainnya, karena menggunakan asumsi-asumsi proyeksi yang realistis, dimana secara umum mengasumsikan level dampak intervensi menengah.



Gambar 22 Proyeksi Jumlah Penduduk Menurut Model Komponen Kohort Skenario B



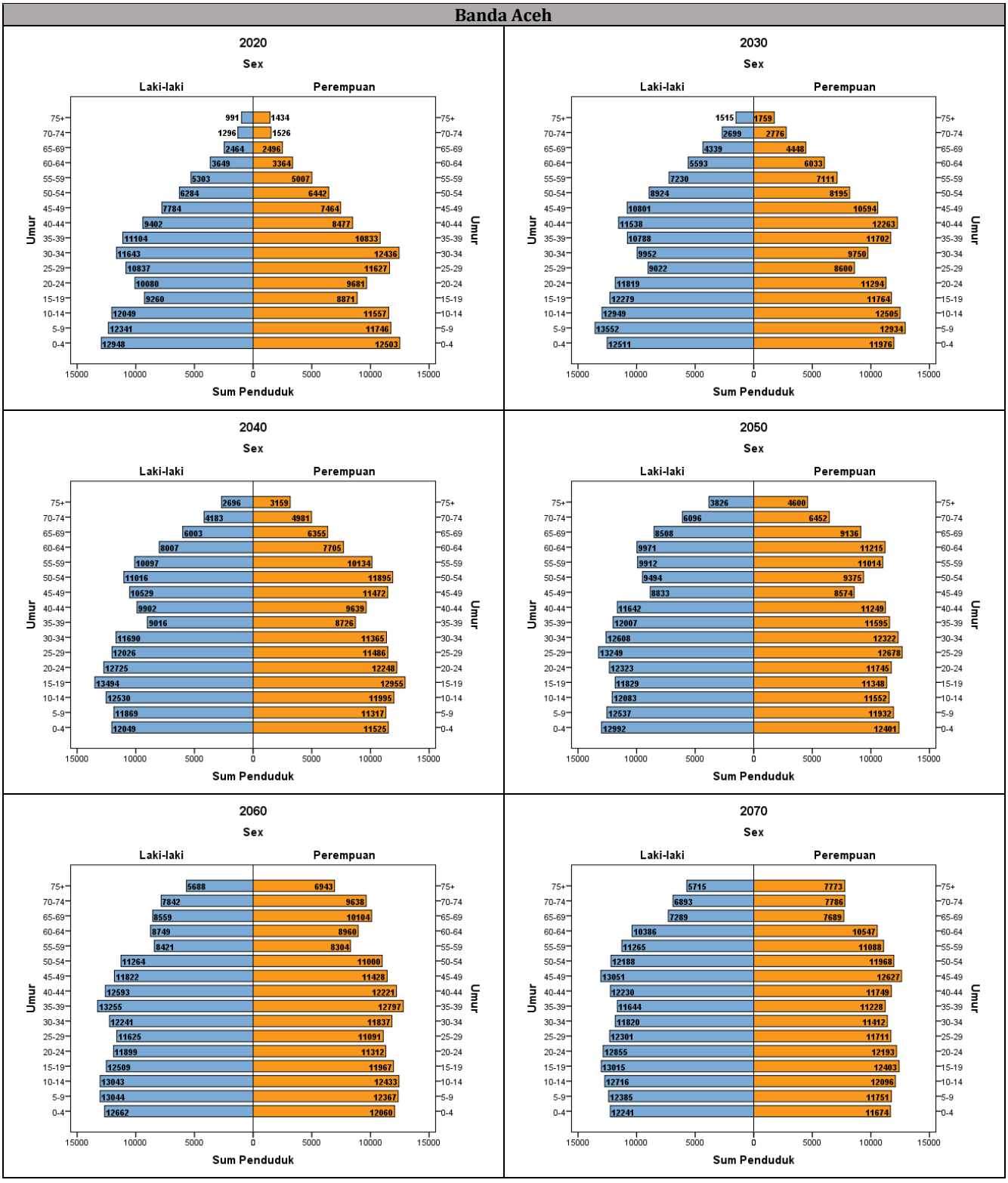
Gambar 23 Proyeksi Penduduk Menurut Kelompok Umur Kota Banda Aceh



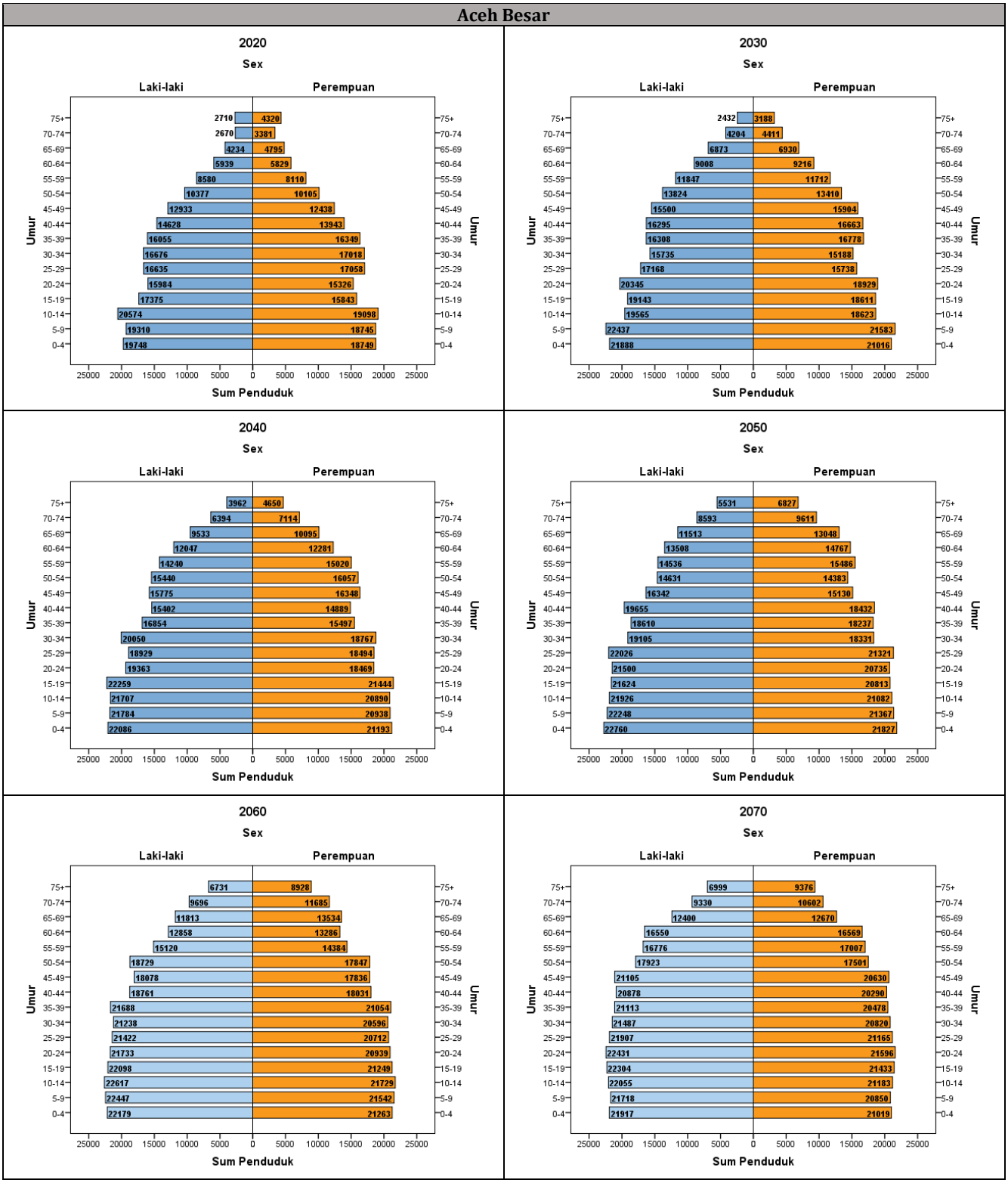
Gambar 24 Proyeksi Komposisi Penduduk Menurut Kelompok Umur Kabupaten Aceh Besar

Jumlah penduduk di kedua wilayah diproyeksikan akan meningkat namun dengan akselerasi yang melambat. Secara total jumlah penduduk dikedua wilayah diproyeksikan mencapai 943.771 jiwa pada tahun 2070

atau meningkat 43,3% dalam 50 tahun proyeksi (Gambar 22). Selanjutnya pertumbuhan jumlah penduduk menurut kelompok umur dapat diperhatikan pada Gambar 23 & 24. Untuk Kota Banda Aceh persentase penduduk produktif meningkat hingga tahun 2040 dimana angka rasio ketergantunganya adalah 45,6 jiwa per 100 jiwa penduduk produktif. Persentase penduduk produktif menurun pada tahun 2050 dan 2060 dan kembali meningkat pada tahun 2070. Pada tahun 2070 persentase penduduk produktif Kota Banda Aceh diproyeksikan mencapai 67,2%, dimana angka rasio ketergantunganya adalah 48,8 jiwa per 100 jiwa penduduk produktif. Sementara itu untuk Kabupaten Aceh Besar persentase peduduk produktif meningkat pada tahun 2030, namun menurun dalam periode 20 tahun setelahnya. Pada tahun 2060 persentase penduduk produktif kembali meningkat dan kembali meningkat pada tahun 2070. Pada tahun 2070 persentase penduduk produktif Kabupaten Aceh Besar diproyeksikan mencapai 67,8%, dimana angka rasio ketergantunganya adalah 47,5 jiwa per 100 jiwa penduduk produktif.



Gambar 25 Piramida Penduduk Banda Aceh (Perubahan struktur penduduk 10 tahunan selama 50 tahun)

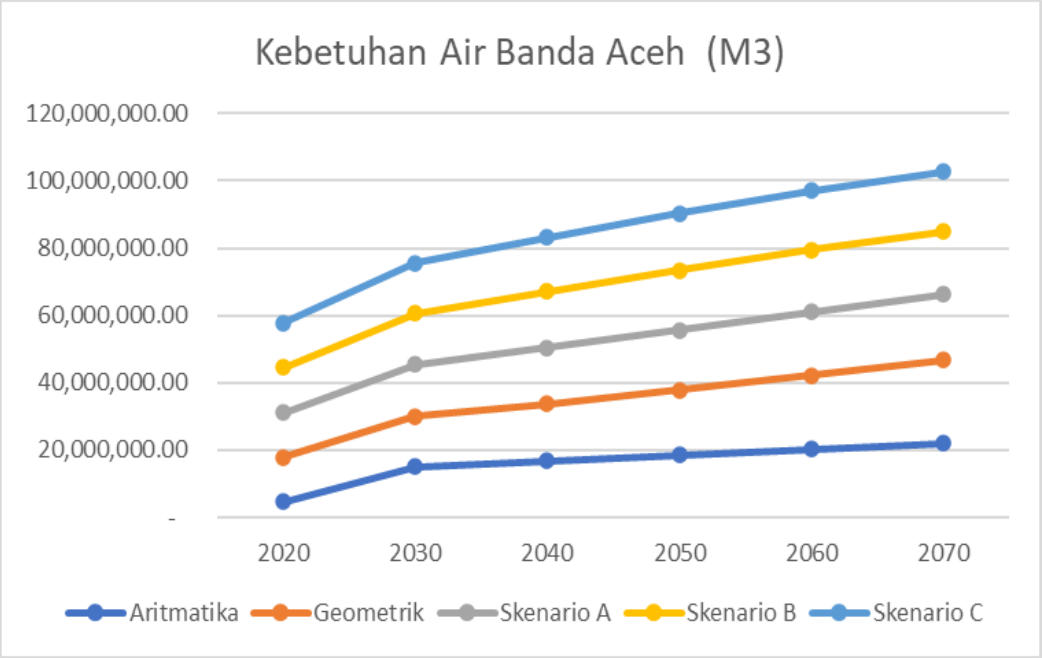


Gambar 26 Piramida Penduduk Aceh Besar (Perubahan struktur penduduk 10 tahunan selama 50 tahun)

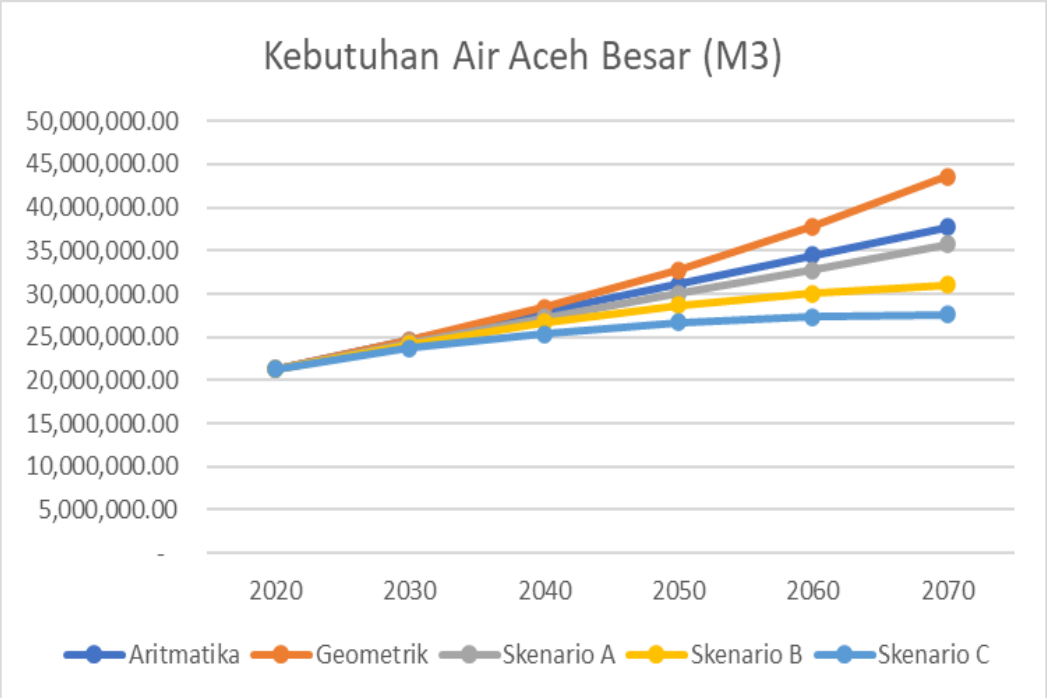
Proyeksi struktur penduduk secara lebih detil dapat dilihat dari pola piramida penduduk pada Gambar 25 & Gambar26. Terlihat bahwa bentuk piramida penduduk kedua wilayah cenderung berpola ekspansif, dimana memiliki bentuk yang besar pada bagian bawah dan semakin kecil di again puncak. Pola ini menunjukkan penduduk di kedua wilayah dalam keadaan bertumbuh dengan persensate penduduk usia muda yang cukup tinggi. Perubahan pola piramida penduduk kudua wilayah dari tahun ke tahun menuju kearah yang lebih statsioner, dimana persentase penduduk usia muda cenderung menurun, sementara penduduk usia tua cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan penurunan angka kelahiran dan perbaikan angka harapan hidup. Pola stasioner cenderung memiliki median umur yang tinggi dan rasio ketergantungan yang rendah.

H. Proyeksi Kebutuhan Sumberdaya Air

Hasil survey yang dilakukan Direktorat Pengembangan Air Minum, Ditjen Cipta Karya pada 2006 menunjukkan setiap orang Indonesia mengkonsumsi air rata-rata sebanyak 144 liter per hari. Dari sejumlah itu pemakaian terbesar untuk keperluan mandi, yakni sebanyak 65 liter per orang per hari atau 45% dari total pemakaian air.



Gambar 27 Proyeksi Kebutuhan Penduduk Banda Aceh



Gambar 28 Proyeksi Kebutuhan Penduduk Aceh Besar

Proyeksi kebutuhan air akan dapat dihitung berdasarkan proyeksi jumlah penduduk didalam DAS Krueng Aceh. Dalam hal ini, DAS Krueng Aceh terdapat dua kabupaten/kota yaitu Kota Banda Aceh. Gambar 27 dan 28 merupakan hasil proyeksi kebutuhan air untuk kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar. Dari Grafik tersebut dapat lihat terjadi peningkatan kebutuhan air di Kota Banda Aceh dan Aceh Besar di tahun 2030, 2040, 2050, 2060, dan 2070.

BAB V : PENUTUP

Secara garis besar, penelitian ini dilakukan dengan 3 tahap; (1) melakukan tinjaun penggunaan model RRI di Indonesia, (2) membangun permodelan hidrologi untuk kebutuhan melihat potensi sumberdaya air di dalam DAS, (3) menganalisis proyeksi jumlah penduduk dengan metode cohort-component population projection.

Dari hasil pengumpulan laporan penggunaan model RRI di Indonesia, sampai tahun 2021 telah digunakan aplikasi ini sebanyak 13 kali dengan sebaran lokasi DAS Solo sebanyak 6 kali, DAS Brantas Hulu 2 kali, DAS Hulu 2 kali, dan DAS Batanghari 3 kali. Semua laporan tersebut dalam bentuk artikel ilmiah yang telah melalui proses peer-review baik paper dalam jurnal maupun dalam konferensi. Penggunaan paling tinggi yaitu pada tahun 2021 sebanyak 5 artikel ilmiah. Jika diliat dari kecocokan penggunanaan model ini sangat cocok di Indonesia. Indonesia memiliki jumlah DAS yang sangat banyak untuk diaplikasi pemodelan model ini namun dalam hal membangun model ini mempunyai tantangan dalam kelangkaan data klimatologi maupun hidrologi. Apabila ketersediaan data atau informasi dari DAS dapat ditingkatkan, DAS-DAS Indonesia yang beragam ukuran dan karakteristiknya sangat prospek untuk diaplikasikan model ini untuk kebutuhan manajemen DAS, sumberdaya air dan juga untuk kebutuhan mitigasi bencana seperti banjir.

Permodelan Hidrologi yang sudah dikembangkan dalam penelitian ini dapat dijadikan bantuan atau tool dalam menilai potensi ketersediaan air di DAS Krueng Aceh. Hasil Proyeksi penduduk di DAS Krueng Aceh dalam hal ini penduduk Banda Aceh dan Aceh Besar semakin meningkat ditiap decade kedepan. Peningkatan jumlah penduduk ini akan berimbas pada kebutuhan penggunaan air dimasa yang akan datang. Dengan adanya model ini, akan menjadi dasar dalam mengelola sumber daya air

yang ada di DAS Krueng Aceh di masa yang akan datang. Penelitian ini akan menjadi contoh di nasional bagaimana pengelolaan sumberdaya air seriring peningkatan jumlah penduduk

DAFTAR PUSTAKA

BPS. 2011. Kajian Life Table Indonesia Berdasarkan hasil SP2010. Jakarta: BPS

Cash, J.R. & Karp, A.H. (1990) A variable order Runge-Kutta method for initial value problems with rapidly varying right-hand sides. ACM Trans. on Math. Software, 16(3), 201-222.

Hunter, N.M., Bates, P.D., Horritt, M.S., Wilson, M.D. (2007) Simple spatially-distributed 1-8 models for predicting flood inundation: A review. Geomorphology, 90, 208-225.

Ishihara, T., Takasao T. (1962) A study on the subsurface runoff and its effects on runoff process, Transactions of the Japan Society of Civil Engineers, 79, 15-23, (in Japanese with English abstract).

Iwasa, Y., Inoue, K. (1982) Mathematical simulation of channel and overland flood flows in view of flood disaster engineering, Journal of Natural Disaster Science, 4(1), 1-30.

Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. & Flannery, B.P. (1992) Adaptive stepsize control for Runge-Kuta. Numerical Receipes in Fortran 77, The Art of Scientific Computing Second Edition, Cambridge University Press, 708-716

Raws, W.J., Ahuja, L.R., Brakensiek, D.L. & Shirmohammadi, A. (1992) Inflitration and soil water movement. Handbook of Hydrology, McGrow-Hill Inc., New York, 5.1-5.51.

Sayama, T., McDonnell, J. J. (2009) A new time-space accounting scheme to predict stream water residence time and hydrograph source components at the watershed scale, Water Resour. Res., 45, W07401.

Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S., Fukami, K. (2012) Rainfall-Runoff-Inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin, Hydrological Science Journal, 57(2), 298-312.

Tachikawa, Y., G. Nagatani, K. Takara (2004), Development of stage discharge relationship equation incorporating saturated-unsaturated flow mechanism (in Japanese), JSCE Annual Hydraulic Engineering, 48, 7 – 12, (in Japanese with English Abstract).

Takahiro Sayama,. (2014). Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model Technical Manual. International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM)

Takasao, T., Shiiba, M. (1976), A study on the runoff system model based on the topographical framework of river basin, Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers, 248, 69-82, (in Japanese with English abstract).

Takasao, T., Shiiba, M. (1988) Incorporation of the effect of concentration of flow into the kinematic wave equations and its applications to runoff system lumping. Journal of Hydrology, 102, 301– 322.

Yusuf F, et al. (2014). Methods of Demographic Analysis. Springer

Aduah, M. S., Jewitt, G. P. W., & Warburton Toucher, M. L. (2017). Assessing suitability of the ACRU hydrological model in a rainforest catchment in Ghana, West Africa. *Water Science*, *31*(2), 198–214. https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.06.001

Hapsari, R. I., Syarifuddin, M., Putri, R. I., & Novianto, D. (2021). Comparisons of distributed and lumped rainfall-runoff model for soil moisture estimation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *930*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012071

Hapsari, R. I., Syarifuddin, M., Putri, R. I., Sasongko, R., & Aponno, G. (2021). Satellite soil moisture downscaling using rainfall runoff model. *Proceedings of the 18th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2021)*, *Aogs 2021*, 67–69.

Hendrawan, V. S. A. (2020). Crop Yield Response to The Flood hazard : An Insight from Remote Sensing and Hydrodynamic. *Agricultural Meteorology in Tohoku*, *64*(March 2020), 27–28.

Hendrawan, V. S. A., & Komori, D. (2021). Developing flood vulnerability curve for rice crop using remote sensing and hydrodynamic modeling. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *54*(August 2020), 102058. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102058

Ikhzan, J., Apip, Fakhrudin, M., Subehi, L., & Yamamoto, K. (2021). Flood Hazard Assessment with High Spatial Resolution under Climate Change Scenario. *Journal of Physics: Conference Series*, *1858*(1), 1–10. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012058

Khaing, Z. M., Zhang, K., Sawano, H., Shrestha, B. B., Sayama, T., &

Nakamura, K. (2019). Flood hazard mapping and assessment in data-scarce Nyaungdon area, Myanmar. *PLoS ONE*, *14*(11), 1–18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224558

Kudo, S., Sayama, T., Hasegawa, A., & Iwami, Y. (2016). Analysis of flood risk change in future climate in terms of discharge and inundation in the Solo River Basin. *7th ICWRER*, *December*, 1–6.

Kudo, Shun, Sayama, T., Hasegawa, A., & Iwami, Y. (2015). Assessment of Climate Change Impact on Flood Discharge And Inundation In The Solo River Basin, Indonesia. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, *71*(4), I_1321-I_1326.

Livneh, B., Rajagopalan, B., & Kasprzyk, J. (2017). Hydrological model application under data scarcity for multiple watersheds , Java Island , Indonesia. *Biochemical Pharmacology*, *9*, 127–139. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.007

Manfreda, S., Mita, L., Dal Sasso, S. F., Samela, C., & Mancusi, L. (2018). Exploiting the use of physical information for the calibration of a lumped hydrological model. *Hydrological Processes*, *32*(10), 1420–1433. https://doi.org/10.1002/hyp.11501

Marshall, L., Nott, D., & Sharma, A. (2005). Hydrological model selection: A Bayesian alternative. *Water Resources Research*, *41*(10), 1–11. https://doi.org/10.1029/2004WR003719

Milzow, C., Krogh, P. E., & Bauer-Gottwein, P. (2011). Combining satellite radar altimetry, SAR surface soil moisture and GRACE total storage changes for hydrological model calibration in a large poorly gauged catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(6), 1729–1743. https://doi.org/10.5194/hess-15-1729-2011

Nastiti, K. D., An, H., Kim, Y., & Jung, K. (2018). Large-scale rainfall–runoff–inundation modeling for upper Citarum River watershed, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, *77*(18), 0. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7803-x

Nastiti, K. D., Kim, Y., Jung, K., & An, H. (2015). The application of Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model for inundation case in upper Citarum Watershed, West Java-Indonesia. *Procedia Engineering*, *125*, 166–172. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.024

Sayama, T., River, C. P., River, C. P., & Sayama, T. (2014). *Rainfall-Runoff-*

Inundation (RRI) model (Vol. 2013, pp. 2–3).

Sayama, T., Yamamoto, K., Araki, R., Siska, E. M., Takara, K., Sayama, T., Yamamoto, K., Araki, R., Siska, E. M., & Takara, K. (2019). Impact of Climate Change on Hydrological Cycle in a Humid Tropical River Basin in Sumatra , Indonesia. *Proceedings of the 8th International Conference on Water Resources and Environment Research, ICWRER 2019*, 1–4.

Shrestha, B B, Sawano, H., & Kuribayashi, D. (2016). Assessment of Disaster Damage due to Flood Hazard in the Solo River Basin of Indonesia. *7th ICWRER*, *3*(December 2007), 1–6.

Shrestha, Badri Bhakta, Perera, E. D. P., Kudo, S., Miyamoto, M., Yamazaki, Y., Kuribayashi, D., Sawano, H., Sayama, T., Magome, J., Hasegawa, A., Ushiyama, T., Iwami, Y., & Tokunaga, Y. (2019). Assessing flood disaster impacts in agriculture under climate change in the river basins of Southeast Asia. *Natural Hazards*, *97*(1), 157–192. https://doi.org/10.1007/s11069-019-03632-1

Yamamoto, K., Sayama, T., & Apip. (2021). Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia. *Progress in Earth and Planetary Science*, *8*(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4

Yang, P., Ames, D. P., Fonseca, A., Anderson, D., Shrestha, R., Glenn, N. F., & Cao, Y. (2014). What is the effect of LiDAR-derived DEM resolution on large-scale watershed model results? *Environmental Modelling and Software*, *58*, 48–57. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.04.005

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Dokumentasi Penyiapan Alat Pengambilan Parameter Sungai

Dokumentasi Pengambilan Data Slope Sungai

Dokumentasi Pengambilan Data Cross-section (Penampang) Sungai

BIODATA PENELITI

BIODATA PENELITI
PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN LP2M
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Budi Azhari, M. Pd
2.	Jenis Kelamin L/P	Laki-laki
3.	Jabatan Fungsional	Lektor
4.	NIP	19800318 20081 1005
5.	NIDN	2018038003
6.	NIPN *(ID Peneliti)*	201803800308552
7.	Tempat dan Tanggal Lahir	Seumadam/ 18 Maret 1980
8.	E-mail	budiazhari@ar-raniry.ac.id
9.	Nomor Telepon/HP	082161688448
10.	Alamat Kantor	Jl. Syehk Abdur Rauf, Kopelma Darussalam, Banda Aceh
11.	Nomor Telepon/Faks	0651-75529221/ 0651-75529222
12.	Bidang Ilmu	Terapan
13.	Program Studi	Pendidikan Matematika
14.	Fakultas	Tarbiyah dan Keguruan

B. Riwayat Pendidikan

No.	Uraian	S1	S2	S3
1.	Nama Perguruan Tinggi	Universitas Syiah Kuala	Universitas Negeri Malang	-
2.	Kota dan Negara PT	Banda Aceh, Provinsi Aceh – Indonesia	Malang, Jawa Timur - Indonesia	-
3.	Bidang Ilmu/ Program Studi	Pendidikan Matematika	Pendidikan Matematika	-
4.	Tahun Lulus	2004	2006	-

C. Pengalaman Penelitian dalam 3 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Sumber Dana
1.	2014	Pemetaan Pemahaman Guru Matematika melalui Pendekatan Teori APOS pada Madrasah Aliyah Negeri Kota Banda Aceh	DIPA UIN Ar-Raniry
2.	2015	Peningkatan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematika melalui *Creative Problem Solving* pada Mahasiswa Pendidikan Matematika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry	DIPA UIN Ar-Raniry
3.	2016	Tinjauan terhadap Peningkatan Kualitas Guru, Kepala Sekolah dan Pengawas Sekolah di Aceh (Analisis Empiris dan Konseptual)	APBA/ Dinas Pendidikan Aceh
4.	2016	Identifikasi Ganguan Belajar Dyscalculia pada Anak Madrasah Ibtidayah Kota Banda Aceh	DIPA UIN Ar-Raniry
5.	2017	Model *Eliciting Activities* dalam manganalisis Kreativitas Pemecahan Masalah Matematis pada Mahasiswa Pendidikan Matematika di PTKIN Aceh	DIPA UIN Ar-Raniry
dst.			

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 3 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian	Sumber Dana
1.	2014	Pembinaan guru SD/MI dalam penerapan PAKEM (Pembelajaran Aktif, Kreatif, Efektif dan Menyenangkan) di Kec. Blang Bintanga Kab. Aceh Besar	Mandiri
2.	2015	Pelatihan pembuatan alat peraga matematika ramah lingkungan pada KKG Kec. Darussalam Kab. Aceh Besar	Dinas Pendidikan Kabupaten Aceh Besar
3.	2015	Pendampingan penulisan karya	Dinas

		tulis ilmiah bagi guru matematika di Kab. Aceh Tamiang dan Kota Langsa	Pendidikan Aceh
4.	2016	Pendampingan penulisan karya tulis ilmiah bagi guru matematika di Kab. Pidie Jaya	Dinas Pendidikan Kabupaten Pidie Jaya
5.	2016	Pendampingan penulisan karya tulis ilmiah bagi guru matematika di Kab. Aceh Jaya	Dinas Pendidikan Kabupaten Aceh Jaya
6.	2017	Pendampingan terhadap guru matematika dalam menangani siswa dengan gangguan belajar diskalkulia di Madrasah Ibtidaiyah Kota Banda Aceh	Mandiri

E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun/Url
1.	Pembelajaran dengan Pendekatan Teori APOS untuk Meningkatkan Pemahaman Mahasiswa pada Mata Kuliah Kalkulus	Al-Khawarizmi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika. (Cetak)	Vol. 3. No. 1. Thn 2015
2.	Peningkatan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematika Melalui *Creative Problem Solving* pada Mahasiswa Pendidikan Matematika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda	Al-Khawarizmi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika. (Cetak)	Vol. 3. No. 1. Thn 2016.

	Aceh		
3.	Identifikasi Gangguan Belajar Dyscalculia pada Siswa Madrasah Ibtidaiyah	Al-Khawarizmi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika (*Online*)	Vol. 1. No. 1. Thn 2017.

F. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Tebal Halaman	Penerbit
1.	Sejarah dan Filsafat Matematika	2017	viii + 234	Pale Media Prima – Yogyakarta. ISBN: 978-602-60760-4-5
2.	-	-	-	-

G. Perolehan HKI dalam 10 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1.	-	-	-	-
2.	-	-	-	

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Penugasan Penelitian pada Pusat Penelitian dan Penerbitan LP2M Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 08 Oktober 2021
Ketua

Budi Azhari, M.Pd
NIDN. 2018038003

BIODATA PENELITI
PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN LP2M
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH

H. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	M. Faisi Ikhwali S.T, M. Eng.
2.	Jenis Kelamin L/P	Laki-laki
3.	Jabatan Fungsional	Asisten Ahli
4.	NIP	199110082020121013
5.	NIDN	2008109101
6.	NIPN *(ID Peneliti)*	20101117141000
7.	Tempat dan Tanggal Lahir	Uteun Pula/ 08 Oktober 1991
8.	E-mail	faisi.ikhwali@ar-raniry.ac.id
9.	Nomor Telepon/HP	085277474036
10.	Alamat Kantor	Jl. Syehk Abdur Rauf, Kopelma Darussalam, Banda Aceh
11.	Nomor Telepon/Faks	085277474036
12.	Bidang Ilmu	Terapan
13.	Program Studi	Teknik Lingkungan
14.	Fakultas	Fakultas Sains dan Teknologi

I. Riwayat Pendidikan

No.	Uraian	S1	S2	S3
1.	Nama Perguruan Tinggi	IPB University	Khon Kaen University	-
2.	Kota dan Negara PT	Bogor - Indonesia	Khon Kaen - Thailand	-
3.	Bidang Ilmu/ Program Studi	Teknik Sipil dan Lingkungan	Water Resources Engineering	-
4.	Tahun Lulus	2013	2019	-

J. Pengalaman Penelitian dalam 3 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Sumber Dana
1.	2017	The potential solutions of water resource problem in Cisarua Sub-district, Bogor, West Java, Indonesia	Mandiri
2.	2018	Application of coupled Mike SHE/MIKE 11 modelling to estimate water balance components in Huay Luang River Basin, Thailand	KKU Scholarship
3.	2018	The Effect of Climate Changes on Water Resources in Huai Luang River Basin, Thailand	KKU Scholarship
4.	2021	Effects of population and land-use change on water balance in DKI Jakarta	Mandiri
5.	2021	Assessment of Water Shortage Situations in Lower Nam Pong Basin under Climate Change	Mandiri
6.	2021	Adsorption Mechanism on Surfactant Removal Using Eggshell Waste and Rice Straw as Economically Biosorbent	Mandiri
7.	2021	Flood Control Strategy in Kali Sabi River Basin in Tangerang	Mandiri

K. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 3 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian	Sumber Dana
1.	2021	Menulis satu artikel dalam karya pengabdian kepada masyarakat (buku bunga rampai) yang sudah diterbitkan dan ber ISBN. (Selaksa harapan di masa pandami)	Mandiri
2.	2021	Kegiatan Pendampingan Teknis Pengukuran Untuk Perencanaan Pembangunan Drainase/Saluran Pembuangan Gampong di Gampong Suleue	Mandiri

L. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun/Url
4.	Application of coupled Mike SHE/MIKE 11 modelling to estimate water balance components in Huay Luang River Basin, Thailand	Agriculture and Natural Resources (ANRES Journal)	2018
5.	The potential solutions of water resource problem in Cisarua Sub-district, Bogor, West Java, Indonesia	The 2nd International Conference of "Multidisciplinary Approaches on UN Sustainable Development Goals" (UNSDGs)	2018
6.	Effects of population and land-use change on water balance in DKI Jakarta	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 622 012045
7.	Assessment of Water Shortage Situations in Lower Nam Pong Basin under Climate Change	Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST)	Vol 29 No 4 (2564): October-December 2021

M. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Tebal Halaman	Penerbit
3.	Selaksa harapan di masa pandami	2021	172	Bandar Publishing – Banda Aceh. ISBN: 978-623-

				6114-54-4
4.	-	-	-	-

N. Perolehan HKI dalam 10 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1.	The potential solutions of water resource problem in Cisarua Sub-district, Bogor, West Java, Indonesia	2020	Karya Tulis	00199598
2.	-	-	-	

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Penugasan Penelitian pada Pusat Penelitian dan Penerbitan LP2M Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 08 Oktober 2021
Anggota

M. Faisi Ikhwali
NIDN. 2008109101