



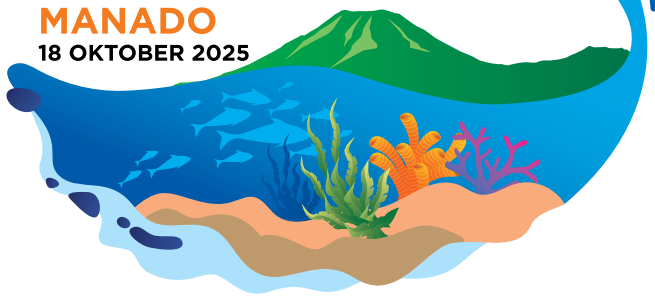
HIMPUNAN
AHLI TEKNIK HIDRAULIK
INDONESIA

KEMENPU
SIGAP MEMBANGUN NEGERI UNTUK RAKYAT

PROSIDING

SUB TEMA 3

PIT42
HATHI
MANADO
18 OKTOBER 2025



**PERTEMUAN
ILMIAH
TAHUNAN
KE - 42 HATHI**

MANADO, 18 OKTOBER 2025

Tema :

**“Inovasi Teknologi Pengelolaan SDA
Berkelanjutan Menuju Swasembada Air,
Pangan dan Energi”**



PEMERINTAH PROVINSI
SULAWESI UTARA



UNIVERSITAS
SAM RATULANGI MANADO

Sub Tema 3

**IoT untuk Pengendalian Daya Rusak
Air dan Mitigasi Bencana Alam**

**Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) ke-42 HATHI
Manado, 18 Oktober 2025**

Tema: “Inovasi Teknologi Pengelolaan SDA Berkelanjutan
Menuju Swasembada Air, Pangan dan Energi”

ISSN: 0853-6457 (cetak)

**Sub Tema 3
IoT untuk Pengendalian Daya Rusak Air dan Mitigasi Bencana Alam**

220 halaman, xiv

210mm x 297mm

HATHI @2025

**Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia
(HATHI)**

Alamat Sekretariat:

Gedung Direktorat Jenderal SDA, Lt. 6 Kementerian PU,
Jl. Patimura No. 20 Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12100
Gedung HATHI, Jl. Bank V No. 1B Kelurahan Pela Mampang,
Kecamatan Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12720

Email: hathi_pusat@yahoo.com,
 hathi.pusat@gmail.com

Website: www.hathi.id

KATA PENGANTAR

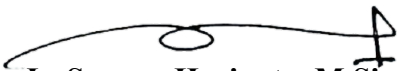
Dengan mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, Pengurus HATHI Cabang Sulawesi Utara dan Panitia Pelaksana Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) ke-42 Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) Tahun 2025 menyampaikan selamat atas terbitnya Prosiding PIT ke-42 HATHI. Publikasi karya ilmiah ini merupakan hasil dari kegiatan PIT ke-42 HATHI dengan Tema “Inovasi Teknologi Pengelolaan SDA berkelanjutan Menuju Swasembada Air, Pangan dan Energi”, yang diselenggarakan secara hybrid di Universitas Sam Ratulangi, Manado pada Tanggal 18 Oktober 2025.

PIT ke-42 HATHI terasa isitimewa, dengan antusiasme partisipasi peserta dari 39 cabang HATHI di seluruh Indonesia. Jumlah makalah yang didaftarkan 207 judul, 46 Makalah ditolak, 4 Makalah diwithdrawn, 157 Makalah diterima untuk dipresentasikan dan diterbitkan. Semoga paper tersebut benar-benar berkualitas dan memberikan sumbang saran solusi bagi permasalahan terkait air yang kita hadapi dewasa ini.

Kami merasa bahwa dalam hal penerbitan prosiding ini masih terdapat beberapa ketidaksempurnaan, oleh karena itu kami menyampaikan permohonan maaf dan mengharapkan banyak masukan yang konstruktif yang akan sangat membantu dalam rangka penyusunan dan penulisan di kemudian hari. Kami ucapkan selamat kepada penulis atas karya ilmiahnya yang telah berhasil diterbitkan dalam prosiding ini.

Manado, November 2025

Hormat kami,



Ir. Sugeng Harianto, M.Si., M.T.
Ketua Panitia PIT ke-42 HATHI

DAFTAR ISI

Kata pengantar	ii
82. MANAJEMEN RISIKO BANJIR DENGAN PEMODELAN HIDRAULIKA FISIK 3D MORFOLOGI SUNGAI LEPRAK DI DAS REJALI, GUNUNG SEMERU	949
<i>Santosa Sandy Putra, Ali Usman, Arif Gunawan, Maria Asunta Hana Pramudawati</i>	
83. KAJIAN ANCAMAN BANJIR DAN EFEKTIVITAS OPERASI PINTU TEDUNAN DALAM MELINDUNGI LAHAN PERTANIAN DI KABUPATEN JEPARA UNTUK Mendukung Swasembada Pangan Nasional	961
<i>Jessica Elisabeth Sitorus, Farah Risti Hafshah, Natasya Hanasesa Alamanda, Ivan Daniel Pasaribu, Bramantyo Herawanto, Agung Permana, Helmi Lazuardi</i>	
84. ANALISIS TREN HUJAN UNTUK PRIORITAS LOKASI PEMASANGAN EWS SEBAGAI UPAYA MITIGASI BENCANA LONGSOR BERBASIS IOT.....	973
<i>Ida Suryani, Andrea Sumarah Asih, Indragiri Krisnangga Murti Setyo Budiharso, Fery Moun Hepy, Andi Arwik</i>	
85. ANALISIS EFEKTIVITAS PEMECAH GELOMBANG DALAM MENGENDALIKAN EROSI DI PANTAI SIKABALUAN	984
<i>Ermil Yanuarsyah, Annisa Kinanti, Rizky Mahardhika, Bayu Purnama, Sudarto</i>	
86. ANALISIS DAN STRATEGI MITIGASI BENCANA BANJIR SUNGAI CILEUNGSI DI WILAYAH KABUPATEN BOGOR.....	995
<i>David Partonggo Oloan Marpaung, Andri Farhan Murtako, Geri Ramdhan Dazali, Alif Lamra Amal Putra</i>	
87. PENGEMBANGAN PROTOTIPE SISTEM KONTROL AIR AKTIF DAN TERINTEGRASI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)	1007
<i>Fatha Berlian, Hanif Fathir</i>	
88. ANALISA POLA SEBARAN SEDIMEN TERSUSPENSI MENGUNAKAN GOOGLE EARTH ENGINE STUDI KASUS DANAU TONDANO KABUPATEN MINAHASA SULAWESI UTARA.	1019
<i>Ribut Setiawan, Lydia A. Karema, Anneke M. Tewal</i>	
89. EVALUASI KOREKSI BIAS HUJAN SATELIT TERHADAP DATA PENGUKURAN CURAH HUJAN MENGGUNAKAN PEMETAAN KUARTIL UNTUK PEMODELAN HIDROLOGI.....	1031
<i>James Albert Kaunang, Fanny Aliza Savitri, Rifki Maulana</i>	
90. PEMANFAATAN SISTEM SCADA BERBASIS IOT DALAM PENGOPERASIAN POMPA DAN PENGENDALIAN BANJIR DI SUBDAS RAWA TEMBAGA	1043
<i>Stefan Theophilus, Willy Cahyadhiputra Gunawan, Hadi Purwanto</i>	
91. PEMODELAN NUMERIK SUNGAI KRUENG GEUNTEUT UNTUK MITIGASI BANJIR BERKELANJUTAN DALAM PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR.....	1055
<i>Erwin Mardiyanto Putra, Ervan Mukhamad Sofwan, Harianto Harianto, Indah Sri Amini</i>	

92. PERMODELAN NUMERIK DALAM PENGENDALIAN RISIKO GERUSAN DAN BANJIR PADA SUNGAI BATANG SULITI SEBAGAI STRATEGI MITIGASI BENCANA	1067
<i>Indah Sri Amini, Arlendenovega Satria Negara, Muhammad Shodiq Supriyanto, Harianto Harianto, Agung Setya Budi</i>	
93. PEMANFAATAN DATA HUJAN SATELIT GSMAP UNTUK PERINGATAN DINI BANJIR DI WILAYAH SUNGAI CILIWUNG-CISADANE	1077
<i>Nuru Fajar Januriyadi, Nurul Hamid, David Partonggo Oloan Marpaung</i>	
94. ANALISIS JARINGAN STASIUN HUJAN AUTOMATIC RAINFALL RECORDER (ARR) BERBASIS GIS-AHP DI WILAYAH SUNGAI BRANTAS.....	1088
<i>Brigita Krisanti, Ivania Aestrianingsih, Adi Bowo Kusumo</i>	
95. EVALUASI KECUKUPAN TINGGI JAGAAN BENDUNGAN WONOGIRI AKIBAT PENGARUH GELOMBANG.....	1100
<i>Ridho Nur Aziz Rastanto, Arief Budiyanono, Paramita</i>	
96. DATA SPASIAL DASAR ATR/BPN UNTUK PEMETAAN TUTUPAN LAHAN SUB-DAS SEPAKU SEBAGAI BASIS SISTEM PERINGATAN DINI DI DAS SANGGAI, IBU KOTA NUSANTARA....	1113
<i>Raja Putra Kusuma, Hadiranti, Widya Haryanda</i>	
97. SISTEM DINAMIK DAN TEKNOLOGI IOT DALAM MITIGASI BENCANA HIDROMETEOROLOGI	1123
<i>Retno Nalarsih</i>	
98. ANALISIS PEMODELAN BANJIR PADA SUB DAS SEMARMENDEM BENGAWAN SOLO HILIR DI KABUPATEN BOJONEGORO.....	1135
<i>Roid Ghazi, Indah Nur Alifa Tandju</i>	
99. UPAYA MITIGASI BENCANA BANJIR MENGGUNAKAN SMART SPILLWAY BERBASIS IOT PADA KOLAM RETENSI (STUDI KASUS: KOLAM RETENSI PURWOKERTO).....	1147
<i>Khoirunnisaa Ronaa Fairuuz, Shakti Rahadiansyah, Aprilia Putri Kurniawan, Nabilla Aranda Shinta Sanyoto, Vika Suryani, Gatut Bayuadji</i>	
100. PENGELOLAAN JARINGAN IRIGASI PADA SUBAK DAN KONSERVASI AIR UNTUK MITIGASI BENCANA DEGRADASI LINGKUNGAN	1159
<i>I Gusti Agung Putu Eryani, Made Widya Jayantari, Irma Suryanti</i>	
LAMPIRAN	
Panduan Penulisan Makalah PIT Ke-42 HATHI	vii

[Halaman ini sengaja dibiarkan kosong/*This page is intentionally left blank*]

SISTEM DINAMIK DAN TEKNOLOGI *IoT* DALAM MITIGASI BENCANA HIDROMETEOROLOGI

Retno Tri Nalarsih^{1*}, Arbor Reseda², Wied Wiwoho Winaktoe³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Indonesia

²Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, Kementerian PU, Indonesia

³Konsultan Individu, Indonesia

*retno_nalarsih@univetbantara.ac.id

Intisari

Bencana hidrometeorologi salah satunya banjir, penelitian berlokasi Kawasan Bhayangkara Batu Hitam Tanjungpinang, sebagai variabel adalah pertumbuhan jumlah penduduk, curah hujan, dan persampahan muara yang mengganggu penyediaan air bersih dengan *Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)* yang sudah tersedia. Tujuan penelitian mendapatkan solusi atas pengaruh dari variabel di atas berdasarkan Sistem Dinamik berbasis *Multiple Land Use*, untuk mengambil arah kebijakan yang lebih jelas. Metode yang digunakan dengan Pemodel HECRAS dan pendekatan Sistem Dinamik. Berdasarkan Daerah tangkapan air memiliki luas 1.090 Ha, termasuk kota besar, sehingga periode kala ulang yang digunakan perencanaan infrastruktur 10 tahun. Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana didasarkan curah hujan harian maksimum tertinggi pertama pada tahun 2002-2021, memiliki tipe hujan ekuatorial non-Zona Musim yang meningkatkan banjir. HECRAS menghasilkan tinggi elevasi prediksi banjir 1 m dan bersifat genangan, dapat memvalidasi kondisi banjir terhadap hasil investigasi, dan sekaligus mensimulasikan solusi dengan infrastruktur *pond* sebagai pengendali banjir. Permasalahan sampah yang dominan plastik, diselesaikan dengan *Smart Recycling*, kemudian wilayah gambut dikembangkan dengan *Smart irigasi*. Sistem Dinamik dengan skenario jumlah penduduk, kepadatan penduduk, dan curah hujan meningkat. Hasil simulasi adanya intervensi dari variabel *Smart irigasi* 25% dan *Smart Recycling* pengolah limbah plastik 15%, seiring turunnya tinggi banjir sebanding dengan penurunan kerentanan banjir sebesar 34,9%. Sistem Dinamik dengan kinerja komprehensif mampu membuat pemodelan *reel time* bahwa pada Tahun ke 6, tercapai kondisi kerentanan banjir sangat rendah. Arah kebijakan Kawasan Bhayangkara Batu Hitam Tanjungpinang berbasis *Multiple-Land Use (MF-Land Use)* yaitu dengan penerapan *Smart Irigasi* dan *Smart Recycling* sehingga penurunan dan efektifitas penggunaan lahan setiap tahunnya sebesar 0.5%.

Kata kunci: sistem dinamik; Multiple Land Use ; Hydrologic Engineering Center's-River Analysis System (HECRAS); kerentanan bencana banjir

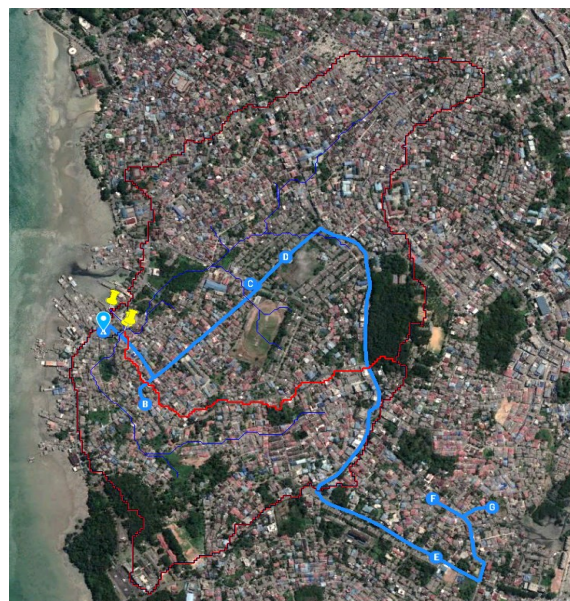
Latar Belakang

Bencana hidrometeorologi terjadi diseluruh negara. Terlebih hidrometeorologi yang ekstrim yaitu banjir (Khattak et al., 2016), penelitian ini berfokus pada bencana banjir. Banjir merupakan bencana yang sangat merugikan dan berdampak

luas, perlu dilakukan penanggulangan (Nalarsih et al., 2024). Menghadapi tekanan akibat pertumbuhan populasi manusia (Holman et al., 2017), memicu peningkatan proyeksi penduduk (Desalegn & Mulu, 2021; Kitsikoudis et al., 2021), disisi lain akibat pertumbuhan penduduk yang cepat, terjadi degradasi lahan (Desalegn & Mulu, 2021), mengonfirmasi korelasi kebutuhan dan biaya lahan (Munibah et al., 2018; Wang et al., 2012). Implikasi deforestasi terhadap iklim global dan perubahan lingkungan, terjadi degradasi (Desalegn & Mulu, 2021; Kitsikoudis et al., 2021; O. Appiah et al., 2024; Umugwaneza et al., 2021), tuntutan berbagai skenario aktivitas manusia dan dampak ekologi alami (Liu et al., 2017), sangat penting dalam pembuatan kebijakan tata guna lahan yang terarah (Fan et al., 2021).

Pengaruh curah hujan yang tinggi (Dinis et al., 2021; Nalarsih, 2023), kedalaman genangan, debit yang besar dan waktu yang lama mempengaruhi kerusakan infrastruktur (Gao et al., 2021), diminimalkan dengan pengendalian resiko banjir terhadap kerentanan (Nalarsih, 2024).

Diketahui pula bahwa bertambahnya jumlah penduduk diiringi peningkatan volume sampah (Ching et al., 2021). Hal ini terjadi di Batu Hitam Tanjung Pinang Barat, terletak di kawasan pesisir, salah satu penyebab adalah sampah di mulut muara pantai.



(sumber: hasil olah data, 2023)

Gambar 1. Catchment Area Lokasi

Gambar 1 menunjukkan bahwa A adalah ruas jalan Usman Harun, B ruas jalan Bhayangkara, C ruas jalan Sulaiman Abdullah, D ruas jalan Sutan Syahrir, E ruas jalan Wiratno, F ruas jalan Cempedak, dan G ruas jalan Cempedak Gang Mangga. Kawasan ini menjadi pusat tumpuan air dan sampah kiriman sebelum sampai ke laut karena memiliki kontur yang lebih rendah dari daerah sekitarnya (Rian Robianto1, 2020), diikuti perilaku masyarakat membuang sampah ke laut, dan keterbatasan regulasi (Desrian Effendi, 2022), diperkirakan bahwa banjir yang terjadi setiap kali hujan lebat dan sangat lama (Nalarsih et al., 2020).

Pulau kecil dengan keterpencilan geografisnya dan ekonomi yang digerakkan oleh pariwisata menimbulkan tantangan besar dalam memastikan keberlanjutan pengelolaan sampah padat khususnya plastik (Cahya et al., 2025; Ching et al., 2021). Diketahui Pemerintah Daerah Batu Hitam Tanjung Pinang dalam penyediaan air bersih dengan *Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)*. Faktor penghambat program adalah air kurang bersih (Anggi Syahfitriani, 2023), sumber polusi air merupakan tantangan, beragam penggunaan lahan (Li & Zhang, 2020).

Pengelolaan kualitas air, nilai penyediaan aliran dan peran penting didukung inovatif dan pengelolaan adaptif (Matiatos, 2016). Teknologi yang berkembang, guna analisis dan simulasi hidrologi menggunakan HECRAS, variabel utama curah hujan, analisis dan luaran hidrograf (Kastridis & Stathis, 2020; Prastica et al., 2018), analisis puncak banjir pada kala ulang (Ibrahim et al., 2024; Nalarsih, 2024; Rangari et al., 2019), dan menganalisis genangan banjir (Qian et al., 2024; Rangari et al., 2019). Secara terpisah pihak lain menganalisis dengan Sistem Dinamik secara global. Model Sistem Dinamika (SD) digunakan secara berkelanjutan sebagai pendekatan yang ramah pemangku kepentingan dalam SDA partisipatif (Sriyana et al., 2023), mewujudkan hubungan timbal balik secara comprehensive (Harms et al., 2023).

Berikutnya *Multiple Land Use* berbagai kebutuhan (Parker et al., 2002), pengelolaan atau pengembangan lahan mengakomodasi berbagai aktivitas dan pemanfaatan sekaligus (Matiatos, 2016), hubungan antar fungsi pemanfaatan lahan sangat penting agar kebijakan pemanfaatan lahan terarah (Fan et al., 2021), dianggap faktor eksogen. Model simulasi yang jarang mempertimbangkan efek iklim (Liu et al., 2017). Berdasarkan hal tersebut di atas, diperlukan penelitian lebih lanjut mendapatkan solusi pengaruh pertumbuhan Jumlah penduduk, curah hujan, dan solusi terhadap penggunaan lahan dan terhadap kerentanan banjir, dan solusi *Multiple Land Use* untuk mengambil arah kebijakan yang lebih jelas.

Metodologi Studi

Lokasi Penelitian

Kawasan Bayangkara Batu Hitam, memiliki geomorfologi perbukitan. Pola aliran sungai radial hingga dendritik di sekitar Gunung Ranai, ke arah barat laut berubah menjadi pola aliran trellis. Penentuan Daerah Tangkapan Air (DTA) Daerah Aliran Sungai menggunakan data topografi dari Peta Rupabumi Indonesia (RBI) dari BIG (Badan Informasi Geospasial) dan DEM (Digital Elevation Model), Penentuan daerah batasan *catchment* adalah; A adalah Punggung ke punggung Gunung, B adalah Puncak ke puncak Bukit (*Stream divide Range*), C adalah Sungai disebelahnya, dan D adalah Batas daerah aliran atau titik tertinggi muka bumi berbentuk punggungan (*Stream Divide*), sesuai Gambar 1. Data populasi penduduk sebagai variabel utama setelah curah hujan, tahun 2022 mencapai 66.883 jiwa, diperkirakan tahun 2023 mencapai 71.019 jiwa, dan 2033 mencapai 75.412 jiwa.

Ketersediaan Data dan Metode Analisis

Pendekatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan model HECRAS, yang bertujuan mendapatkan area banjir dan genangan, secara hidrolik, diintegrasikan ke model Sistem Dinamik yang strategis yang terarah, secara *real time* (Nalarsih, 2024), dikembangkan berbasis *Multiple Land Use*.

Analisis Hidrologi

Analisis curah hujan maksimum

Data curah hujan yang digunakan minimal 10 tahun pengamatan dari Stasiun BMKG Hang Nadim.

Tabel 1. Curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 hingga 2021

Tahun	Bulan (mm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	246,3	34,4	46,4	53	57	81	69,7	51,8	26,8	34,5	35,1	197,4
2007	174	25,9	65	27	59	51	84,4	72,8	35	63,8	39	209
2008	57	73,9	81,2	38,8	27,3	42,9	67	64,4	103,2	28,4	38,5	117,4
2009	5,2	22,2	99,3	36,6	45,5	89,2	34,2	40,4	69	36,2	65,4	49,1
2010	18	4,3	83,4	50,7	58,2	37,4	30,4	31,2	94,1	61,2	50,5	23,2
2011	279,5	4,3	30,8	64,4	19,5	42,1	67,8	91,4	70,8	110,8	163,3	53,7
2012	0,3	2,7	77,6	30,9	39,9	6,8	4,6	0,1	5,6	11,6	3,6	11,2
2013	4,9	1,5	10,5	55	36,2	4,5	8,6	19,7	18,1	2,5	64,5	46,4
2014	6,3	0	29,6	57,7	47	41,3	39,4	76,4	60,5	7,8	59,4	116,7
2015	0	28,4	35,6	38,5	60,1	30,6	15	46	18,1	58	68,2	50,6
2016	0	109	9,7	17,5	61,9	45,5	67	36,6	18,5	55,9	104,2	0
2017	0	16	149,3	48,3	92,6	43,5	19,3	87	38,7	64,5	155,7	36,2
2018	74,5	5	39,6	51,2	34,5	45,7	15	92,9	48,3	27,5	84,5	65,5
2019	118	14,1	9,2	12,7	25	64,7	28,6	32,6	32,8	27,5	37,9	96,4
2020	37,1	15,5	10	62,3	115,2	56,4	47,3	80,5	60,1	59,5	48,1	37,5

Perhitungan parameter dasar statistik

Perhitungan parameter dasar statistik dilakukan menghitung nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, koefisien variasi, koefisien kemencengan, dan koefisien ketajaman.

Perhitungan debit curah hujan dan Uji Kecocokan. Metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Gumbell, dan Metode Distribusi Log Pearson Tipe III, sesuai dengan Persamaan 1, 2, dan 3.

Distribusi Gumbel Tipe I:

$$X_T = \bar{X} + \frac{s}{s_n} (Y_T - Y_n) \quad (1)$$

Distribusi Log Person Tipe III:

$$Y = Y + k \times S \quad (2)$$

Distribusi Log Normal:

$$XT = X + K_t \times S \quad (3)$$

Waktu Puncak (T_p)

Waktu puncak Hidrograf Satuan Sintetis ditentukan oleh harga *time lag*. Rumus Snyder maka waktu puncak didefinisikan sebagaimana persamaan 4 (Natakusumah, dkk., 2011).

$$T_p = TL + 0,50 T_r \quad (4)$$

dimana T_p adalah waktu puncak(jam) dan T_r adalah satuan durasi hujan (jam).

Waktu Dasar (T_b)

Untuk DAS kecil ($A < 2 \text{ km}^2$), menurut SCS harga T_p dihitung dengan persamaan (5) (Natakusumah, dkk., 2011).

$$T_b = \left(\frac{8}{3}\right)T_p \quad (5)$$

Persamaan Bentuk Dasar Hidrograf Satuan ITB-1 HSS ITB-1, di uji kecocokan menggunakan Uji Smirnov-Kolmogrov dan Uji Chi-Kuadrat. Analisa periode kala ulang curah hujan, didasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (1986) pada Tabel 2, termasuk kota besar, daerah tangkapan air 1.090 Ha, sehingga periode kala ulang digunakan perencanaan adalah periode kala ulang 10 tahun.

Tabel 2. Penentuan periode kala ulang berdasarkan tipologi kota

No.	Tipologi Kota	Daerah tangkapan Air (Ha)			
		< 10	< 10-100	100-500	>500
1	Kota Metropolitan	2 Th	2-5 Th	5-10 Th	10-25 Th
2	Kota Besar	2 Th	2-5 Th	2-5 Th	5-20 Th
3	Kota Sedang	2 Th	2-5 Th	2-5 Th	5-10 Th
4	Kota Kecil	2 Th	2-5 Th	2 Th	2-5 Th

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2014:14)

Analisis Debit Banjir

Time Lag

Berdasarkan karakteristik fisik Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia, lebih relevan dan sesuai menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis ITB-1, dimana rumus *time lag* menurut Snyder dengan penyederhanaan harga $L_c = \frac{1}{2} L$, rumus Snyder dalam Persamaan 6 hingga 9, (Natakusumah et al., 2011). Analisis menggunakan indikator dan variabel sesuai formula berikut:

$$TL = Ct \ 0,81225 L^{0,6} \quad (6)$$

dimana TL adalah *timelag* (jam), C_t adalah koefisien penyesuaian waktu, dan L adalah panjang sungai (km). Koefisien C_t kalibrasi harga T_p , dengan ketentuan harga sebagai berikut; $C_t = 1$, harga standar, $C_t > 1$, jika T_p perhitungan lebih kecil dari T_p pengamatan agar harga T_p membesar, dan $C_t < 1$, jika T_p perhitungan lebih besar dari T_p pengamatan agar harga T_p mengecil. Lengkung turun seluruhnya dinyatakan dengan Persamaan (7) (Natakusumah, dkk., 2011).

$$qt = \{t \times \exp(1 - t)\}^{aCp} \quad (7)$$

Debit Puncak dan Faktor Debit Puncak Hidrograf Satuan

Debit puncak hidrograf satuan sintesis akibat tinggi hujan satu satuan $R = 1 \text{ mm}$ yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $T_r = 1 \text{ jam}$ dapat dihitung menggunakan persamaan 8.

$$Q_p = R \cdot 3,6 \cdot T_p \cdot ADAS \cdot AHSS \quad (8)$$

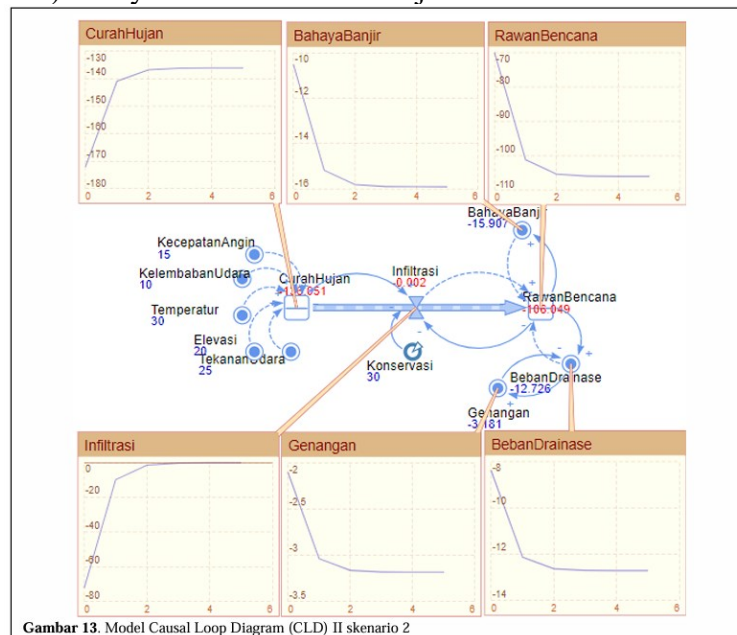
Dimana R adalah Curah Hujan satuan (1.0mm), Q_p adalah Debit puncak hidrograf satuan (m^3/s), T_p adalah waktu mencapai puncak (jam), $ADAS$ adalah Luas DAS (km^2), dan $AHSS$ adalah Luas kurva hidrograf satuan tak berdimensi.

Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana dan Analisis dan Pemodelan Hidrolik

Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Log Normal; Metode Distribusi Gumbell; dan Metode Distribusi Log Pearson Type III. Pemodelan hidrolik memetakan daerah genangan banjir dan kedalaman di sepanjang saluran dari Hulu ke Hilir.

Analisis System Dynamic dan Analisis Multi Land Use

Pendekatan penelitian sebelumnya, yaitu *Causal Loop Diagram* (CLD) model I (Nalarsih, 2024) bahaya dan kerentanan banjir. sesuai Gambar 6.



Gambar 3. CLD Sistem Dinamik (Nalarsih, 2024)

Berdasarkan CLD di atas maka dikembangkan menjadi CLD II, model arah kebijakan sesuai dengan variabel, parameter dan faktor intervensi yang digunakan. Analisis *Multi Land Use solving* berbasis *IoT*.

Hasil Studi dan Pembahasan

Frekuensi Curah Hujan Rencana

Hasil analisa frekuensi curah hujan rencana berdasarkan curah hujan harian maksimum diresume pada Tabel 3.

Tabel 3. Resume Perhitungan Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana

METODE ANALISA FREKUENSI	Tinggi Hujan dengan Berbagai Kala Ulang (R.. Th)					
	R2 th (mm)	R5 th (mm)	R10 th (mm)	R25 th (mm)	R50 th (mm)	R100 th (mm)
1. Metode Gumbel	121	193	240	300	345	389
2. Metode Log Pearson III	117	171	210	264	308	353
3. Metode Normal	130	185	213	236	263	281
4. Metode Log Normal	119	172	208	244	291	329

Berdasarkan Tabel 1, 2 dan 3, curah hujan harian maksimum tertinggi pertama pada tahun 2020-2021, hasil penelitian tertinggi berdampak banjir (Darmayanti, 2022), serta memiliki tipe hujan ekuatorial non-Zona Musim yang meningkatkan banjir (Kurniati et al., 2021), hal ini sebagai validasi data.

Hasil Analisis dan Pemodelan Hidrolika

Model Eksisting untuk Debit (Q) 25 Tahun, Sungai Batu Hitam yang melintasi kawasan Bhayangkara di Kota Tanjungpinang, Provinsi Kepulauan Riau.

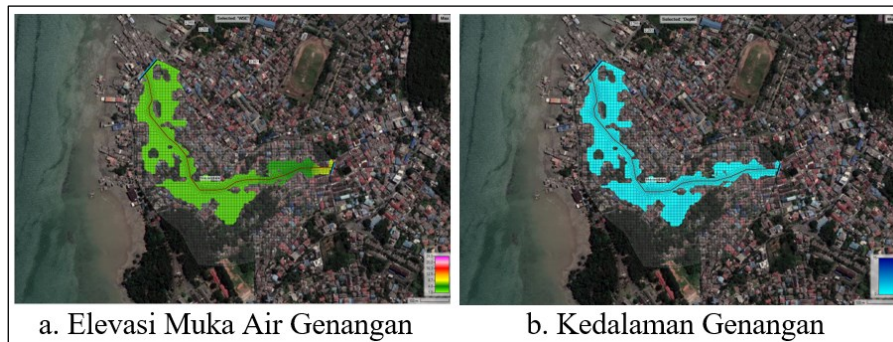


Gambar 6. Skematik Model Kondisi Eksisting

Gambar 6. menunjukkan *Boundary Condition* digunakan dalam simulasi kondisi eksisting; Boundary Condition Hulu dengan *Flow Hydrorgaph*, berupa debit banjir kala ulang 25 tahun, dan *Boundary Condition* Hilir dengan *Normla Depth*.

Simulasi Eksisting Debit Banjir Q 25 tahun

Simulasi HECRAS berdasarkan kondisi Boundary Condition Hulu dan Hilir dengan *Normal Depth* sesuai Gambar 7 a dan b.



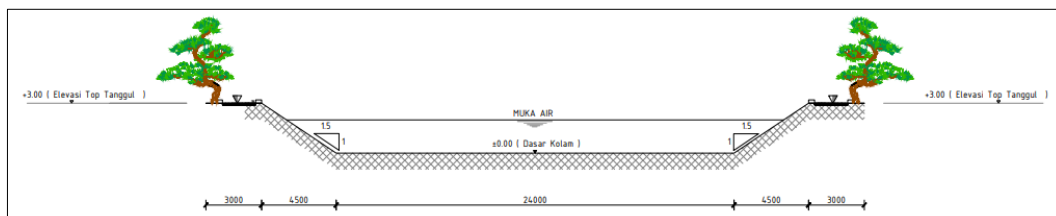
Gambar 7 a dan b Hasil Pemodelan Kondisi Eksisting Q 25 Tahun

Pengukuran jarak vertikal di atas titik acuan menunjukkan ketinggian dasar, dari permukaan laut rata-rata (MSL). Gambar 7a. menunjukkan elevasi muka air genangan, mulai hulu ke hilir genangan semakin tinggi, Gambar 7b. menunjukkan kedalaman genangan dari hulu hingga hilir semakin dalam. Hasil simulasi HECRAS di sepanjang aliran Hilir hingga Hulu terjadi banjir kedalaman 1 m, dengan karakter banjir genangan.

Hasil Analisis Multiple Land Use

Pengembangan Rencana Penanganan Banjir

Penanganan Banjir dengan infrastruktur *pond*, serta pompa air digunakan saat kondisi banjir telah surut. Rencana total luas *pond* adalah 5956 m² dengan kedalaman 3 meter.



Gambar 8. Rencana Pengembangan Pond dan Wisata Edukasi

Pengembangan Potensi Sumber Daya Alam

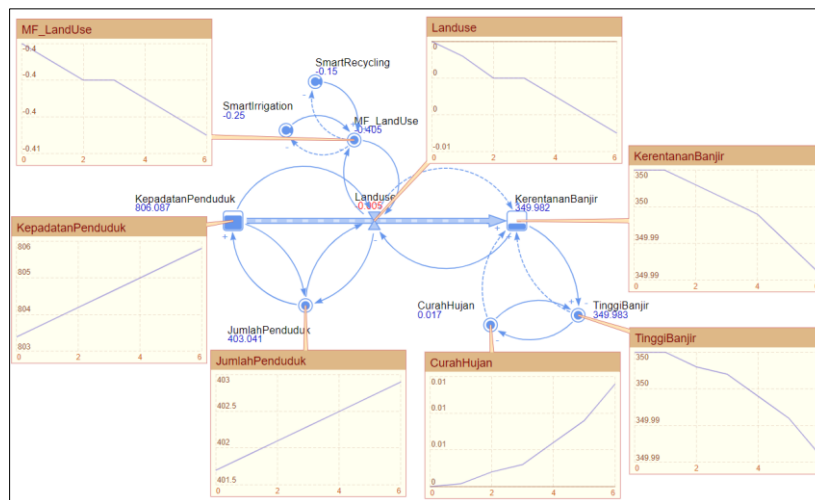
Berdasarkan survey hulu sungai berada di kawasan pegunungan yang tidak terjal, air berasal dari daerah resapan dan rawa-rawa yang terletak di sekitar Perumahan Bhayangkara. Karakteristik ini membuat aliran sungai cenderung lambat, potensi menahan sampah lebih lama. Air mengalir dari daerah dataran sedikit lebih tinggi, melewati vegetasi lebat dan lahan gambut. Hulu sungai memiliki bentuk yang tidak teratur, terjadi mata air banyak, gabungan dari beberapa anak sungai kecil dan saluran drainase kemudian menyatu membentuk aliran lebih besar, menjadi potensi alam wisata. Lokasi ini terjadi air tawar dari sungai bertemu dengan air asin dari Laut Cina Selatan. Muara sungai ini merupakan ekosistem yang unik, terjadi percampuran air dan pembentukan lumpur endapan. Kawasan hilir ini menjadi habitat bagi berbagai jenis flora dan fauna, seperti mangrove dan ikan-ikan kecil,

beradaptasi dengan kondisi air payau, sebagai area persinggahan burung-burung migran dan area perkembangbiakan biota laut tertentu.

Ironisnya Kawasan wilayah pesisir, mengalami masalah sampah yang terbawa arus laut. Tahun 2021 diketahui sampah dengan ketebalan hingga 3,5 meter, hal ini menjadi titik krusial dalam *problem solving* dalam *Multi land use*. Analisis *Multi Land Use* dengan hibah Pengabdian Kepada Masyarakat sebelumnya terkait *solving* sampah plastik, sehingga penerapan teknologi berbasis *IoT*, sebagai pendekatan kompleks dan komprehensif, dan penerapan alat dalam mendukung pertanian, sebagai mitigasi bencana.

Hasil Analisis Sistem Dinamik berbasis Multiple Land Use

Sistem Dinamik pengembangan dari CLD sebelumnya, dikembangkan terhadap *Multiple Land Use*, diintervensi dengan penerapan teknologi tepat guna melalui *Smart Automatic Agriculture Spray* dan Penerapan *IoT Crusher Polystyrene Recycling*, dan *Smart Re-Flood Gate*, seperi Gambar....



Gambar 10. CLD Sistem Dinamik *Multiple Land Use* Hasil Skenario II

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Pemodel HECRAS menghasilkan tinggi elevasi dan genangan lebih terlihat aktual dalam menjawab prediksi banjir, dapat memvalidasi kondisi banjir terhadap hasil investigasi, dan sekaligus mensimulasikan solusi dengan infrastruktur *pond* sebagai pengendali banjir. Skenario kenaikan Jumlah Penduduk, kenaikan Kepadatan Penduduk, Curah hujan semakin tinggi, tetapi dengan adanya intervensi dari variabel *Smart irigasi* 25% dan 15% *Smart Recycling* pengolah limbah plastik, mempengaruhi efisiensi *MF-Land Use* hingga 0,5%, seiring turunnya tinggi banjir sebanding dengan penurunan kerentanan banjir 34,9%. Sistem Dinamik dengan kinerja komprehensif mampu membuat pemodelan *reel time* bahwa pada Tahun ke 6, tercapai kondisi kerentanan banjir mendekati Zerro.

Saran

Sebaiknya dilanjutkan penelitian menggunakan data wawancara yang lebih banyak, melibatkan pemangku kebijakan, sehingga dapat mewujudkan keselarasan dalam pengambilan solusi dan arah kebijakan.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Tim Kerja CV. Intan Kharisma telah memberi kesempatan kepada saya, sebagai Tim Ahli Sumber Daya Air, terlibat dalam pengambilan dan pengolahan data baik sekunder maupun primer.

Daftar Referensi

- Anggi Syahfitriani. (2023). *Strategi Program Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) Pada Blud Uptd Spam Di Kota Tanjungpinang*. Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Cahya, F., Mawaddah, N., Ulya, V., Arwieny, Z., & Prayogo, W. (2025). *A Model of Sustainable Waste Management Based on Climate Village Program in Pasaran Island, Lampung Province, Indonesia*. 300–312.
- Ching, K., Wang, M., Lee, K. E., & Mokhtar, M. (2021). Solid Waste Management in Small Tourism Islands: An Evolutionary Governance Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 13(5896), 2–26.
- Darmayanti, D. K. D. S. S. L. (2022). Identifikasi Karakteristik Spasio-Temporal Hujan Ekstrem di Tanjungpinang Menggunakan Google Earth Engine (GEE). *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar*, 8(2), 158–168.
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12, e00834. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
- Desrian Effendi, 2 Endri Bagus Prastiyo. (2022). Faktor Pendorong Perilaku Membuang Sampah Ke Laut Pada Masyarakat Perumahan Pelantar. *Sosiologi*, X, 423–429.
- Dinis, P. A., Huvi, J., Pinto, M. C., Carvalho, J., & Lorenzo-Lacruz, J. (2021). *Disastrous Flash Floods Triggered by Moderate to Minor Rainfall Events. Recent Cases in Coastal Benguela (Angola)*. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020073>
- Fan, Y., Gan, L., Hong, C., Jessup, L. H., Jin, X., Pijanowski, B. C., Sun, Y., & Lv, L. (2021). Spatial identification and determinants of trade-offs among multiple land use functions in Jiangsu Province, China. *Science of the Total Environment*, 772, 145022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145022>
- Gao, P., Gao, W., & Ke, N. (2021). Assessing the impact of flood inundation dynamics on an urban environment. *Natural Hazards*, 109(1), 1047–1072. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04868-6>
- Harms, J. Z., Malard-Adam, J. J., Adamowski, J. F., Sharma, A., & Nkwasa, A. (2023). Dynamically coupling system dynamics and SWAT+ models using Tinamit: Application of modular tools for coupled human-water system models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(8), 1683–1693.

- <https://doi.org/10.5194/hess-27-1683-2023>
- Holman, I. P., Brown, C., Janes, V., & Sandars, D. (2017). Can we be certain about future land use change in Europe ? A multi-scenario , integrated-assessment analysis. *Agricultural Systems*, 151(1), 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.12.001>
- Ibrahim, O. A., Goshime, D. W., Tekleab, S., & Absi, R. (2024). Flood Inundation mapping and mitigation options in data-scarce region of Beledwayne town in the Wabi Shebele River Basin of Somalia. *Natural Hazards Research*, 4(October 2023), 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.001>
- Kastridis, A., & Stathis, D. (2020). Evaluation of hydrological and hydraulic models applied in typical mediterranean ungauged watersheds using post-flash-flood measurements. *Hydrology*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/hydrology7010012>
- Khattak, M. S., Anwar, F., Saeed, T. U., Sharif, M., Sheraz, K., & Ahmed, A. (2016). Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcGIS: A Case Study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(4), 1375–1390. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1915-3>
- Kitsikoudis, V., Erpicum, S., Rubinato, M., Shucksmith, J. D., Archambeau, P., Pirotton, M., & Dewals, B. (2021). Exchange between drainage systems and surface flows during urban flooding: Quasi-steady and dynamic modelling in unsteady flow conditions. *Journal of Hydrology*, 602(March), 126628. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126628>
- Li, Q., & Zhang, H. (2020). Groundwater pollution source apportionment using principal component analysis in a multiple land-use area in southwestern. *Environmental Science and Pollution Research*, 9000–9011.
- Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Li, S., Wang, S., & Pei, F. (2017). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*, 168, 94–116. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.019>
- Matiatos, I. (2016). Nitrate source identification in groundwater of multiple land-use areas by combining isotopes and multivariate statistical analysis : A case study of Asopos basin (Central Greece). *Science of the Total Environment Journal*, 541, 802–814.
- Munibah, K., Sitorus, S. R. P., Rustiadi, E., & Gandasasmita, K. (2018). Model Hubungan Antara Jumlah Penduduk Dengan Luas Lahan Pertanian Dan Permukiman (Studi Kasus DAS Cidanau , Provinsi Banten). *Jurnal Tanah Dan Lingkungan*, 11(1), 32–40.
- Nalarsih, R. T. (2023). GIS As a Tool in Hydrometeorological Disaster Mitigation Policy in Society 5.0 in Book Chapter A Reflection Of 2022, A Look Ahead To 2023. In D. Karmiyati (Ed.), *Book Chapter* (2023rd ed., Vol. 1, pp. 410–415). BILDUNG. <https://pascasarjana.umm.ac.id/id/pages/detail/publikasi-60/bookchapter-vp-genap-20212022-a-reflection-of-2022-and-look-ahead-to-2023.html>
- Nalarsih, R. T. (2024). *Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil*

- Keputusan Model Ketahanan Banjir*. 45(2), 210–223. <https://doi.org/10.14710/teknik.v45i2.65276>
- Nalarsih, R. T., Herawati, H., Yuniwati, E. D., Sulisty, M. A. B., Taufikurrahman, & Handajani, M. (2024). Flood Vulnerability and Resiliency in Coastal Areas Based on Geographic Information Systems (GIS) and Dynamic. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 14(1), 81–88. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.1.19339>
- O. Appiah, J., Agyemang-Duah, W., & Adei, D. (2024). Analysis of the relationship between forest patch degradation, land uses, and terrain variables in a protected landscape in Ghana. *Trees, Forests and People*, 16(February), 100587. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100587>
- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., Deadman, P., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., & Hall, S. (2002). *Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review Forthcoming*, *Annals of the Association of American Geographers Author Contact Information: Dawn Cassandra Parker Postdoctoral Fellow in Modeling Center for the Study of*. Nag 56406.
- Prastica, R. M. S., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P. C., Sutjiningsih, D., & Anggraheni, E. (2018). Estimating design flood and HEC-RAS modelling approach for flood analysis in Bojonegoro city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/316/1/012042>
- Rangari, V. A., Umamahesh, N. V., & Bhatt, C. M. (2019). Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1839–1851. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00641-8>
- Rian Robianto, M. (2020). Kerentanan Kawasan Permukiman Rawan. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-UNAND)*, 16(1), 25–37.
- Sriyana, I., Winaktoe, W. W., Sipil, D. T. (2023). *Implementasi Multi-Method Modeling untuk Mendukung Keterpaduan Perencanaan Pembangunan di Sub DAS Srep, Kabupaten Kudus*. 44(3), 268–276. <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i3.56875>
- Umugwaneza, A., Chen, X., Liu, T., Li, Z., Uwamahoro, S., Mind'je, R., Umwali, E. D., Ingabire, R., & Uwineza, A. (2021). Future climate change impact on the nyabugogo catchment water balance in rwanda. *Water (Switzerland)*, 13(24), 1–18. <https://doi.org/10.3390/w13243636>
- Wang, H., Wang, L., Su, F., & Tao, R. (2012). Rural residential properties in China : Land use patterns , ef fi ciency and prospects for reform. *Habitat International*, 36(2), 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.06.004>