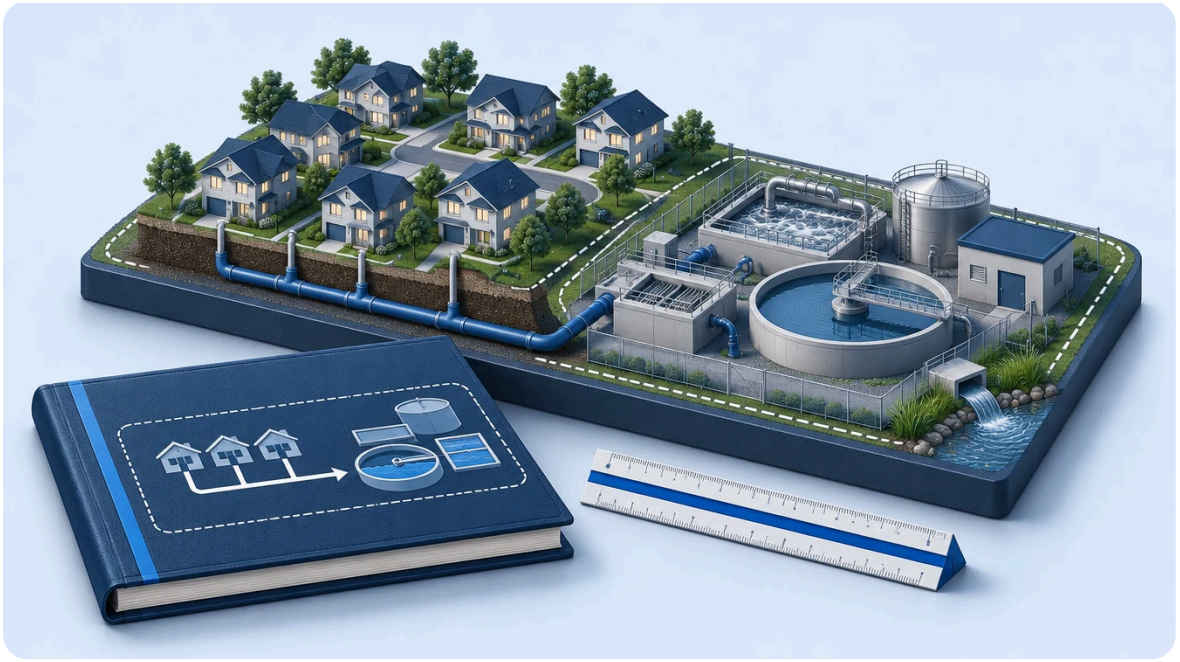
BUKU REFERENSI LANJUT · BAGIAN 1/7 · EDISI 1

Masalah, tujuan, dan batas sistem

Menyusun mandat perancangan yang dapat diuji sebelum memilih teknologi.



Ilustrasi konseptual · Higgsfield

Tujuan dan cara membaca

Perancangan dimulai dengan pertanyaan: air limbah siapa yang dilayani, dampak apa yang dikurangi, dan bukti apa yang diperlukan untuk menerima hasilnya? Gambar bak yang lengkap belum menjawab pertanyaan itu. Bagian ini menghasilkan mandat proyek Griya Asri, batas neraca, daftar sasaran, dan daftar data yang masih harus diperoleh. Bagian 2–7 mengembangkan mandat tersebut menjadi rancangan proses yang saling terhubung.

Buku ini memperluas paket dasar Studio IPAL. Setiap bagian mempunyai jalur baca, contoh terurai, latihan beserta pembahasan, dan PDF dari naskah yang sama. Istilah Inggris dipertahankan ketika merupakan nama variabel, metode, atau istilah teknis yang perlu dicari pada sumber aslinya. Rumus merupakan model dengan batas penggunaan; hasil numerik tidak dengan sendirinya menjadi jaminan mutu efluen.

Keluaran belajar: Anda mampu menyatakan tujuan terukur, menempatkan setiap aliran pada batas yang benar, membedakan data dan asumsi, serta menentukan kapan suatu hasil harus dikembalikan untuk revisi.

1.1 Mandat kasus Griya Asri

Griya Asri adalah permukiman rekaan di Kabupaten Bandung. Pengelola ingin mengolah air limbah domestik gabungan dari 300 sambungan rumah. Skenario utama memakai lumpur aktif aerasi diperpanjang, disebut R4 pada Studio IPAL. Pilihan ini memberi satu contoh yang konsisten untuk mempelajari aerasi, pengendapan, lumpur, hidraulika, biaya, dan operasi. Ia tetap harus dibandingkan dengan alternatif dan dibuktikan layak.

Besaran	Nilai kasus dasar	Status dan penggunaan
Sambungan rumah dan penghuni	300 SR; 5 jiwa/SR	Asumsi layanan; verifikasi dengan survei
Pemakaian air	125 L/jiwa/hari	Asumsi kasus; bukan angka wajib semua kota
Faktor pengembalian	0,80	Asumsi batas rumah menuju jaringan
Faktor puncak	2,50	Asumsi puncak laju; durasi harus dinyatakan

Besaran	Nilai kasus dasar	Status dan penggunaan
BOD_5; COD; TSS	400; 800; 300 mg/L	Konsentrasi masukan latihan
NH_3-N; minyak dan lemak	40; 25 mg/L	Basis nitrogen sebagai N, bukan massa NH_3
Suhu proses	27 °C	Asumsi; minimum musiman perlu diketahui
Lahan	42 × 18 = 756 m²	Batas tapak latihan, belum survei geoteknik
Elevasi tanah; invert masuk	+7,00; +6,40 m	Datum latihan yang sama
Muka air tanah; banjir penerima	+3,00; +4,60 m	Asumsi untuk pemeriksaan awal

Nilai tersebut **bukan hasil pengukuran lapangan**. Misalnya, menyebut suhu 27 °C sebagai “data survei Bandung” akan mengubah arti angka tanpa bukti. Simpan versi kasus dasar GA-IPAL-1.0 sebelum membuat skenario; catat parameter mana yang berubah dan alasannya. Kasus ini belum mempunyai TKN, fosfor total, alkalinitas, fraksi COD, kurva pengendapan, ataupun uji transfer oksigen. Kekosongan itu akan menjadi agenda pengumpulan data, bukan diisi diam-diam dengan angka textbook.

1.2 Tiga batas yang perlu dibedakan

Pertama, batas **pelayanan** mencakup rumah dan kegiatan yang menyumbang air limbah. Putuskan apakah air dapur, kamar mandi, dan toilet semuanya masuk. Air hujan atap tidak direncanakan sebagai air limbah domestik. Sambungan drainase liar harus dicatat sebagai inflow dan ditangani, bukan dinormalisasi dengan menaikkan kapasitas biologis tanpa evaluasi.

Kedua, batas **instalasi** berada pada inlet IPAL sampai titik efluen dan keluarnya residu. Pada batas ini harus terlihat air masuk, air keluar, lumpur keluar, sampah saringan, lemak, penguapan yang relevan, dan air layanan dari luar. RAS dan resirkulasi lain adalah aliran internal. Jika ikut dijumlahkan sebagai produksi air limbah baru, neraca seluruh instalasi menjadi salah.

Ketiga, batas **unit** memotong satu bak atau satu kelompok proses. Aliran yang internal terhadap instalasi dapat menjadi masukan nyata bagi unit tersebut. Clarifier menerima mixed liquor dari aerasi; beban hidraulis inlet clarifier berbeda dari debit efluen bersih.

Perbedaan batas ini menjelaskan mengapa “debit desain” tidak cukup ditulis sebagai satu angka untuk semua alat.

$$\frac{dV}{dt} = \sum Q_{\text{in}} - \sum Q_{\text{out}}$$

Untuk tangki dengan volume air tetap pada keadaan tunak, ruas kiri nol. Pernyataan itu tidak berarti semua reaksi berhenti, konsentrasi selalu seragam, atau debit pada setiap pipa sama. Volume, massa zat, dan energi mempunyai neraca masing-masing. Von Sperling dan Chernicharo [R1, Bab 8.3] membahas neraca sebagai dasar model reaktor; Bagian 5 mengerjakannya dengan satuan dan reaksi secara eksplisit.

1.3 Menetapkan sasaran dan bukti penerimaan

Sasaran proyek sebaiknya berupa pasangan **indikator–bukti**. Untuk mutu efluen, buktinya hasil pengujian pada titik, metode, kondisi operasi, dan frekuensi yang sesuai. Untuk kapasitas hidraulis, buktinya profil muka air pada debit relevan dan kondisi penerima. Untuk keandalan, buktinya strategi saat pompa atau listrik gagal. Model dengan tombol berwarna hijau hanya merupakan satu masukan dalam rangkaian bukti tersebut.

Griya Asri menggunakan skenario pembuangan air limbah domestik gabungan ke media air, debit lebih dari 50 m³/hari. Acuan tabelnya adalah **Permen LH/BPLH 11 Tahun 2025, Lampiran I, bagian A, angka 2**, dengan kolom debit yang sesuai [R4]. Pemilihan kategori harus diulang bila aliran dipisahkan atau air akan dimanfaatkan. Halaman status resmi diperiksa pada 14 November 2026; proyek nyata perlu memastikan ketentuan persetujuan dan status terkini sebelum keputusan final.

Indikator kasus	Sasaran pada kategori tersebut	Bukti yang harus disiapkan
pH	6–9	Pengukuran representatif dan kendali proses
BOD; COD; TSS	30; 100; 30 mg/L	Metode uji dan rekam operasi
Amoniak sebagai N	10 mg/L	Data nitrifikasi, SRT, DO, suhu, alkalinitas
Minyak dan lemak	5 mg/L	Pengambilan residu dan pengujian

Indikator kasus	Sasaran pada kategori tersebut	Bukti yang harus disiapkan
Deterjen total	5 mg/L	Sebagai surfaktan anionik (MBAS), khusus kegiatan pencucian/laundry sesuai catatan tabel
Sisa khlorin	1 mg/L	Pemeriksaan pada titik penaatan jika memakai khlorinasi
Fecal coliform	1.000 MPN/100 mL	Pengolahan akhir dan hasil mikrobiologi

Tabel ringkas ini bukan izin pembuangan dan tidak menggantikan lampiran lengkap beserta keterangannya. Parameter mikrobiologi tambahan pada tabel berlaku khusus fasilitas pelayanan kesehatan sesuai catatan sumber; kasus permukiman tidak boleh otomatis dilabeli fasilitas tersebut. Data deterjen kasus belum tersedia dan perhitungan native belum memeriksa seluruh parameter tabel, sehingga status memenuhi pada model terbatas tidak membuktikan kepatuhan lengkap. Prinsip yang dipakai buku ialah menelusuri kategori dan satuan, lalu menurunkan kebutuhan pengolahan. Sasaran tambahan pemilik dapat lebih ketat, tetapi harus dicatat terpisah agar asal persyaratan tetap jelas.

1.4 Dari layanan menjadi beban

Jumlah penduduk dihitung dari sambungan yang benar-benar dilayani. Dalam kasus dasar seluruh 300 SR dianggap terhubung dan dihuni penuh. Bila baru 60% yang tersambung saat commissioning, beban awal tidak sama dengan kapasitas rencana; aerasi, pembagian jalur, dan pengendalian lumpur harus dapat beroperasi pada kondisi rendah.

$$P = N_{\mathrm{SR}} n = 300(5) = 1500\ \mathrm{jiwa}$$

$$Q_{\mathrm{avg}} = \frac{Pqf}{1000} = \frac{1500(125)(0.80)}{1000} = 150\ \mathrm{m^3/d}$$

$$L_{\mathrm{BOD}} = \frac{QS}{1000} = \frac{150(400)}{1000} = 60\ \mathrm{kg/d}$$

Dalam persamaan debit, q dalam L/jiwa/hari dan pembagi 1.000 mengubah liter menjadi m³. Dalam persamaan beban, Q dalam m³/hari dan S dalam mg/L; pembagi 1.000 menghasilkan kg/hari. Angka pembaginya sama tetapi konversi dimensinya berbeda. Ini alasan memeriksa satuan, bukan menghafal bentuk rumus.

Jika konsentrasi BOD turun karena air hujan, beban belum tentu turun. Contoh Q = 225 m³/hari dan BOD = 267 mg/L memberi sekitar 60,1 kg/hari. Bioreaktor menerima beban organik hampir sama, sedangkan clarifier menerima tekanan hidraulis lebih tinggi. Diagnosis “air lebih encer, sehingga instalasi pasti lebih aman” mengabaikan dua mekanisme tersebut.

1.5 Daftar keputusan dan gerbang kemajuan

Gunakan register keputusan dengan kolom nomor, pertanyaan, pilihan, bukti, penanggung jawab, tanggal, dan kondisi yang memicu revisi. Contohnya: “D-01 menggunakan R4 untuk skenario belajar; ditinjau kembali jika pasokan listrik dan operator tidak memadai.” Dokumen seperti ini menjaga hubungan antara alasan awal dengan dimensi, pengadaan, dan operasi.

Gerbang	Pertanyaan utama	Bukti minimum sebelum lanjut
G1: basis desain	Apakah batas dan sasaran jelas?	Peta layanan, data/asumsi, kategori efluen
G2: kelayakan proses	Dapatkah alternatif memenuhi sasaran?	Neraca beban dan kendala lahan/operasi
G3: desain unit	Apakah mekanisme pengendali diperiksa?	Lembar hitung, sumber kriteria, sensitivitas
G4: integrasi	Apakah antarunit saling cocok?	Hidraulika, lumpur, utilitas, keadaan gagal
G5: verifikasi lanjutan	Apa yang belum dibuktikan?	Rencana pengujian, model, DED, commissioning

Gerbang bukan pembatas demonstrasi antarmuka. Pengguna tetap dapat melompat ke gambar untuk memahami hasil, tetapi buku harus menunjukkan asumsi yang dilewati. Sebuah gambar otomatis boleh dipakai untuk diskusi ruang dan aliran; struktur, detail sambungan, peralatan, dan keselamatan membutuhkan penelaahan tersendiri sebelum pelaksanaan.

1.6 Latihan dan pembahasan

BR01-01 · Batas aliran

RAS sebesar 75 m³/hari dikembalikan ke aerasi. Apakah produksi air limbah dari permukiman menjadi 225 m³/hari?

▼ **Lihat pembahasan**

Tidak. Produksi kasus tetap 150 m³/hari pada batas pelayanan. Pada batas aerasi, aliran inlet dapat mencakup 150 + 75 = 225 m³/hari sebelum memperhitungkan cabang lain. RAS harus hilang dari neraca ketika seluruh instalasi dijadikan satu batas.

BR01-02 · Data belum tersedia

Sebuah lembar perancangan menggunakan alkalinitas 200 mg/L tanpa hasil laboratorium. Bagaimana memperlakukannya?

▼ **Lihat pembahasan**

Tulis sebagai asumsi skenario dengan basis $CaCO_3$, sumber/alasan pemilihan, serta analisis sensitivitas. Minta pengukuran karena nitrifikasi dapat menghabiskan alkalinitas dan menurunkan pH. Jangan mengubah label menjadi data lapangan hanya karena angka telah masuk perangkat lunak.

Tugas keluaran: susun mandat satu halaman dan register data. Untuk setiap sasaran, tuliskan alat pembuktian dan pihak pemeriksanya. Lanjutkan ke Bagian 2 setelah satuan, batas, dan status data dapat dibaca orang lain tanpa penjelasan lisan.

Referensi bagian ini

- **[R1]** Von Sperling, M. & Chernicharo, C.A.L. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, Volume One. IWA Publishing. Bab 2 (hlm. 11–78), 4 (165–243), dan 8.3 (327–329). Identitas dan bagian tersebut diperiksa pada PDF koleksi pemilik; lihat salinan sumber di Drive. Halaman merujuk nomor cetak buku.
- **[R4]** Kementerian LH/BPLH (2025). *Permen LH/BPLH Nomor 11 Tahun 2025*, khususnya Lampiran I, A.2, hlm. 10–11. PDF resmi dan status peraturan. Tabel harus dibaca bersama kategori pembuangan/pemanfaatan, kelompok debit, dan catatannya.

Naskah disusun ulang untuk pembelajaran Studio IPAL; buku sumber berhak cipta tidak diterbitkan ulang. Edisi 1 · 14 November 2026. Bagian 1–7 membahas perancangan dan dasar integrasi; pemodelan dinamis, CFD, dan DED rinci merupakan tahap lanjutan.