BUKU REFERENSI LANJUT · BAGIAN 6/7 · EDISI 1

Perancangan unit pengolahan secara terurai

Empat belas jenis unit, mekanisme pengendali, contoh hitung dan pemeriksaan operasinya.



Ilustrasi konseptual · Higgsfield

Tujuan dan aturan penggunaan angka

Bagian ini membawa persamaan Bagian 5 ke tingkat unit. Rangkaian utama R4 terdiri atas saringan, pemisah minyak, bak pengumpul, pengendap primer, aerasi, pengendap akhir, disinfeksi, pengukuran debit, dan pengering lumpur. Lima unit lain—septik, ABR, filter anaerobik, biofilter aerob, dan lahan basah—dibahas sebagai alternatif pada masalah layanan yang sama.

Semua ukuran contoh di bawah adalah **contoh hitung penulis** untuk memperlihatkan mekanisme. Ukuran itu tidak dinyatakan sebagai dimensi baku dari textbook dan tidak selalu sama dengan hasil pembulatan/modularisasi aplikasi. Pilihan numerik HRT, beban permukaan, MLSS, rasio aliran, dan efisiensi harus diverifikasi terhadap data, sumber kriteria, teknologi, dan persyaratan proyek sebelum dipakai sebagai desain final.

Untuk tiap unit, tulis empat lapis hasil: kebutuhan proses, geometri efektif, pemeriksaan pada kondisi kritis, dan rancangan operasi/perawatan. Panjang luar beton tidak sama dengan panjang air efektif. Freeboard bukan volume reaksi; ruang media tidak seluruhnya berupa volume air; unit cadangan yang sedang dikuras tidak boleh ikut dihitung sebagai kapasitas aktif.

6.1 Saringan kasar dan halus

Saringan memisahkan benda kasar untuk melindungi pompa, pipa, media, dan alat. Ia tidak menggantikan sedimentasi ataupun pengolahan biologis. Tentukan jenis sampah, bukaan, kemiringan, metode pembersihan, serta rute pengambilan. Bukaan yang lebih kecil meningkatkan penangkapan sekaligus kebutuhan pembersihan dan risiko kehilangan energi.

Luas aliran bersih bergantung debit dan kecepatan lewat bukaan. Jika luas kotor digunakan, koreksi fraksi bukaan dan penyumbatan harus dinyatakan. Jangan mengalikan faktor bukaan dua kali pada rumus yang sudah memakai luas bersih.

$$A_{\text{net}} = \frac{Q_p}{v_{\text{opening}}}, \qquad A_{\text{gross}} = \frac{A_{\text{net}}}{\phi_{\text{open}}}$$

Contoh Qp 0,00434028 m³/s dan kecepatan bukaan **asumsi** 0,6 m/s memberi A bersih 0,007234 m². Bila fraksi bukaan bersih 0,60, luas kotor minimum matematis 0,01206 m² sebelum pemeriksaan penyumbatan dan geometri praktis. Angka kecil tidak berarti saluran dapat dibuat sekecil itu: akses garuk, muka air, lebar minimum alat, dan keselamatan mengendalikan konstruksi.

Periksa kecepatan pendekatan pada debit rendah agar benda tidak mengendap sebelum saringan, headloss saat kotor, muka air hulu, redundansi pembersihan, serta tempat penirisan sampah. Saluran bypass untuk pemeliharaan tetap memerlukan pengendalian; bukan izin membuang air limbah tanpa pengolahan. Konsep debit dan kehilangan energi dibahas pada Bagian 2 dan 5; rincian alat membutuhkan data pemasok dan karakter sampah.

6.2 Pemisah minyak dan lemak

Pemisah gravitasi memberi kesempatan fraksi minyak/lemak yang dapat mengapung naik ke permukaan. Keberhasilannya bergantung ukuran globul, beda densitas, suhu, emulsi, dan gangguan aliran. Waktu tinggal merupakan pemeriksaan awal; ia tidak membuktikan semua minyak teremulsi akan terpisah.

Untuk partikel ideal kecil pada rezim Stokes, kecepatan naik sebanding kuadrat diameter. Bentuk ini membantu memahami mengapa droplet halus sulit dipisahkan, tetapi syarat rezim aliran dan bentuk partikel harus diperiksa. Viskositas dan densitas perlu memakai kondisi suhu yang sesuai.

$$v_r = \frac{g(\rho_w - \rho_o)d_o^2}{18\mu}, \qquad A \geq \frac{Q}{v_r}$$

Contoh kapasitas dari HRT **asumsi** 15 menit pada Qp 15,625 m³/jam memberi V efektif 3,906 m³. Dengan kedalaman efektif 1,2 m, luas dari volume 3,255 m². Luas tersebut masih harus dibandingkan kebutuhan pemisahan dan konfigurasi baffle. Jangan menyatakan efisiensi 70% terjamin hanya karena volume terpenuhi.

BOD/TSS tidak otomatis dikreditkan berkurang di unit ini. Rencanakan pengambilan scum, tampungan lemak, akses, pencegahan pengerasan, serta pengelolaan bau. Tangki yang jarang dibersihkan dapat mengembalikan lemak ke aliran berikutnya. Untuk usaha

dapur tertentu, pemisahan di sumber dapat lebih efektif daripada mengandalkan satu bak jauh di hilir.

6.3 Bak pengumpul, pompa, dan ekualisasi

Bak pengumpul menerima aliran dan menyediakan kondisi bagi pengaliran atau pemompaan. Volume untuk siklus pompa berbeda dari volume ekualisasi harian. Pada kasus default, HRT singkat misalnya 20 menit pada debit puncak memberi V = 15,625 × 20/60 = **5,208 m³**. Hidrograf latihan Bagian 2 justru membutuhkan rentang simpanan ekualisasi minimum 30 m³, sebelum tambahan ruang operasi. Dua fungsi itu jangan dipertukarkan.

Untuk wet well dengan pompa berdebit tetap, frekuensi start ditentukan volume di antara level start–stop, debit masuk, dan debit pompa. Pada kondisi masuk tetap, waktu siklus adalah waktu isi ditambah waktu pengosongan bersih. Hindari memilih volume terlalu kecil yang memperpendek umur motor atau terlalu besar yang memicu septisitas.

$$t_{\text{cycle}} = \frac{V_{\text{active}}}{Q_{\text{in}}} + \frac{V_{\text{active}}}{Q_{\text{pump}} - Q_{\text{in}}}, \quad 0 < Q_{\text{in}} < Q_{\text{pump}}$$

Periksa minimum submergence, vortex, sumbatan, NPSH bila relevan, level banjir, alarm tinggi, kapasitas darurat dan rute pengangkatan pompa. Daya dari Q dan head perlu dibagi efisiensi gabungan pompa/motor; spesifikasi akhir mengikuti kurva pemasok pada titik kerja dan rentang operasi. Jangan menggunakan “daya terpasang” sebagai bukti debit tercapai.

6.4 Pengendap primer

Pengendapan primer memisahkan padatan yang dapat mengendap dan scum sebelum biologi. Mekanisme luas permukaan berbeda dari volume/HRT. Untuk partikel diskrit ideal, kemampuan penangkapan berhubungan dengan kecepatan mengendap dibanding surface overflow rate. Pada limbah nyata, flokulasi dan distribusi aliran juga berperan [R2, Bab 4.4].

$$A = \frac{Q}{SOR}, \qquad V = Q\theta, \qquad H = \frac{V}{A}$$

Contoh SOR rata-rata **asumsi** 30 m³/m²/hari memberi A = 150/30 = 5 m². HRT **asumsi** 2 jam memberi V = 12,5 m³, sehingga H efektif 2,5 m. Pada laju puncak ekuivalen 375 m³/hari, SOR naik menjadi 75 m³/m²/hari. Angka terakhir harus dinilai terhadap kriteria sumber dan kondisi sedimentasi; memenuhi rata-rata tidak membuktikan aman saat puncak.

Gunakan contoh penyisihan 30% BOD dan 50% TSS dari Bagian 3 hanya untuk neraca awal: umpan biologi 42 kg BOD/hari dan lumpur primer 22,5 kg TSS/hari. Akses pengurasan, kemiringan/hopper, distribusi inlet, scum baffle, panjang pelimpah, pengendapan di saluran, dan penguraian lumpur selama penyimpanan perlu dirancang. Pengurasan yang gagal dapat meningkatkan beban unit berikutnya meskipun geometri bak benar.

6.5 Bak aerasi lumpur aktif

Bak aerasi mempertahankan biomassa tersuspensi dan menyediakan oksigen serta pencampuran. Pada contoh lanjutan, gunakan V efektif total **180 m³**, MLSS 3,0 kg/m³, dan rasio MLVSS/MLSS **0,75** sebagai asumsi perhitungan. Inventori MLSS 540 kg dan MLVSS 405 kg. Dengan beban BOD sesudah primer 42 kg/hari, F/M berbasis MLVSS sekitar 0,1037 hari^{-1}. HRT bersih 28,8 jam.

Angka ini dipakai untuk menunjukkan hubungan, belum untuk menyatakan bahwa seluruh target nitrifikasi terpenuhi. SRT efektif perlu dihitung dari inventori dan padatan keluar; kinetika nitrifier, suhu minimum, DO, alkalinitas, dan inhibisi harus diperiksa. Menambah volume sementara WAS tetap tidak terkendali tidak menjamin SRT yang dimaksud tercapai [R2, Bab 2–3 dan 6].

$$V = \frac{L_{\mathrm{BOD,bio}}}{(F/M)X_v}, \qquad M_X = VX$$

Jika dipilih F/M 0,10 dan Xv 2,25 kg/m³, volume matematis menjadi 186,67 m³, sedikit lebih besar daripada contoh 180. Perbedaan ini harus terlihat pada lembar desain; jangan membulatkan lalu tetap mengklaim F/M tepat 0,10. Dua kompartemen masing-masing 90 m³ tidak memberi redundansi penuh bila satu dikuras: kapasitas aktif turun setengah dan F/M unit yang bekerja naik dua kali.

Kebutuhan oksigen contoh Bagian 5 sekitar 61,82 kg O_2/hari, tetapi blower dipilih setelah koreksi transfer, puncak beban, tekanan, distribusi, dan cadangan. Periksa pencampuran saat kebutuhan oksigen rendah, dead zone, letak diffuser, drain, akses penggantian, busa dan aerosol. Sediakan hubungan jelas antara DO, RAS, WAS dan strategi operator, bukan hanya daftar dimensi bak.

6.6 Pengendap akhir, RAS, dan WAS

Clarifier sekunder memisahkan flok biologis dan mengentalkan lumpur untuk dikembalikan. Luasnya diperiksa terhadap beban hidraulis dan beban padatan; kedalaman/volume juga memengaruhi zona klarifikasi dan simpanan lumpur. Uji settleability, konsentrasi, sludge blanket dan kondisi bulking dapat mengendalikan kapasitas lebih kuat daripada HRT nominal [R2, Bab 4].

Dengan Q bersih 150 m³/hari, **asumsi** RAS 75 m³/hari dan MLSS 3 kg/m³, padatan yang dibawa mixed liquor ke clarifier adalah 225 × 3 = **675 kg/hari**. Pada contoh luas 10 m², solids loading menjadi 67,5 kg/m²/hari pada basis Q + Qr. Surface overflow untuk efluen bersih adalah sekitar Qe/A, bukan otomatis (Q + Qr)/A. Nyatakan definisi setiap kriteria agar perbandingan sah.

$$SLR = \frac{(Q + Q_r)X}{A}, \qquad R \approx \frac{X}{X_r - X}$$

Pendekatan R mengabaikan WAS dan padatan efluen. Jika X = 3 dan Xr = 9 kg/m³, R = 0,5, sehingga Qr = 75 m³/hari. Bila konsentrasi lumpur balik hanya 6 kg/m³, rasio yang dibutuhkan menurut pendekatan menjadi 1,0. Kinerja pengentalan karena itu memengaruhi debit internal, pompa, dan proses. RAS bukan kontrol langsung pembuangan inventori; WAS mengendalikan keluarnya padatan.

Periksa panjang ambang, distribusi inlet, density currents, scum removal, kemungkinan denitrifikasi pada lumpur tertahan, kapasitas pompa dan kontrol blanket. Mengurangi RAS tanpa membaca blanket dapat menimbun lumpur; meningkatkan RAS berlebihan menambah beban inlet tanpa memperbaiki settleability yang buruk.

6.7 Bak disinfeksi dan waktu kontak efektif

Disinfeksi ditempatkan setelah padatan cukup terkendali. Mikroba yang terlindung partikel dan aliran pintas dapat menurunkan hasil. Untuk klorinasi, kebutuhan reaksi, residu, waktu kontak efektif, pH, suhu dan amoniak harus diperiksa. Produk samping dan dampak residu pada penerima juga termasuk keputusan proses. UV memerlukan dasar desain dosis dan kualitas optik yang berbeda; tidak cukup mengganti nama bahan pada bak yang sama.

$$t_{10} = b\frac{V}{Q_p}, \qquad CT = C_{\text{res}} t_{10}$$

Untuk **asumsi** target waktu kontak efektif 30 menit dan b = 0,50 pada Qp 15,625 m³/jam, volume perlu 15,625 × 0,5/0,5 = **15,625 m³**. Jika hanya memakai V = Qp × 0,5, volume 7,8125 m³ memberi waktu nominal 30 menit tetapi t10 hanya 15 menit pada b yang diasumsikan. Nilai b memerlukan dasar pengujian/rujukan yang sesuai, idealnya tracer test; contoh 0,50 bukan hasil uji Griya Asri.

Dosis terapan tidak sama dengan residu. Contoh dosis 5 mg/L pada 150 m³/hari setara 0,75 kg/hari sebagai bahan aktif; kebutuhan produk bergantung kadar aktif dan uji kebutuhan klorin. Angka itu bukan rekomendasi dosis yang telah terbukti. Sediakan kalibrasi dosing, interlock aliran, penyimpanan aman, ventilasi, dan titik sampling. Target mikrobiologi harus diverifikasi, bukan diturunkan hanya dari persentase BOD.

6.8 Pengukuran debit dan titik penaatan

Pengukuran debit diperlukan untuk mengetahui beban, mengendalikan dosis, mengevaluasi kinerja, dan menyusun laporan. Bak ukur perlu kondisi hidraulis yang memungkinkan hubungan tinggi–debit berlaku. Pilihan meliputi flume, ambang, atau flowmeter pipa dengan ketentuan pemasangan masing-masing.

Untuk ambang segitiga ideal dengan aliran bebas, bentuk dasarnya berikut. Cd, sudut, geometri pendekatan, head pengukuran, ventilasi nappe dan kondisi terendam menentukan keabsahannya. Tidak setiap lubang segitiga pada beton merupakan alat ukur terkalibrasi.

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) h^{5/2}$$

Eksponen 2,5 berarti kesalahan pembacaan head dapat menghasilkan kesalahan debit lebih besar. Pada pendekatan galat kecil, ΔQ/Q ≈ 2,5 Δh/h. Untuk h 0,10 m dan galat 2 mm, pengaruhnya sekitar 5% sebelum ketidakpastian Cd dan geometri. Periksa rentang debit minimum–puncak, endapan, backwater, akses kalibrasi, serta pencatatan data. Titik penaatan perlu mewakili efluen akhir sesuai persyaratan; jangan mengambil sampel sebelum aliran samping yang sah bergabung bila titik akhirnya berada sesudahnya.

6.9 Pengeringan dan penyimpanan lumpur

Bak pengering menerima padatan yang telah dikumpulkan dari proses. Perancangan meliputi massa kering, konsentrasi lumpur basah, pola pengisian, drainase filtrat, hujan, waktu pengeringan, pengangkatan cake, dan tujuan penanganan. Lapisan pasir serta kerikil berfungsi sebagai media/drainase; susunan ukuran butir dan pipa harus mencegah kehilangan media serta penyumbatan. Ketebalan gambar saja belum membuktikan kinerja.

$$A_{\text{dry}} = \frac{365 P_{\text{DS}}}{L_{\text{DS,annual}}}, \qquad V_{\text{wet}} = \frac{P_{\text{DS}}}{\rho_{\text{sludge}} f_{\text{DS}}}$$

Gunakan **contoh** PDS = 45 kg/hari dan beban areal tahunan **asumsi** 150 kg DS/m²/tahun. Luas matematis 109,5 m². Bila lumpur 2% padatan massa dan densitas 1.000 kg/m³, volume basah sekitar 2,25 m³/hari. Jika kadar padatan hanya 1%, volume menjadi dua kali lipat. Cadangan kapasitas 10% dapat dinyatakan terpisah: massa desain 49,5 kg/hari dan luas 120,45 m². Lahan, ritme pengurasan, dan kendaraan penanganan sangat dipengaruhi konsentrasi ini.

PDS contoh berasal dari skenario neraca Bagian 7 dan bukan hasil uji. Nilai beban tahunan perlu disesuaikan iklim, stabilisasi, metode pengeringan, tutup, jumlah sel dan waktu operasi. Filtrat dikumpulkan dan dikembalikan secara terkendali ke titik yang dianalisis; airnya dapat membawa beban amoniak/organik. Jangan menganggap seluruh filtrat sama dengan air bersih atau memasukkannya ke drainase hujan.

6.10 Tangki septik

Tangki septik menggabungkan sedimentasi, penyimpanan lumpur/scum dan penguraian anaerobik sebagian. Volume tidak hanya Q × HRT; ruang lumpur selama interval pengurasan dan freeboard harus dipisahkan. Aliran keluar tetap memerlukan penanganan yang sesuai lokasi serta sasaran efluen. Memiliki tangki septik tidak berarti amoniak atau mikroba otomatis memenuhi batas buang.

$$V_{\text{total}} = V_{\text{liquid}} + V_{\text{sludge storage}} + V_{\text{scum}} + V_{\text{freeboard}}$$

Untuk layanan 1.500 jiwa, penilaian terpusat perlu mempertimbangkan modularisasi, akses kendaraan penguras, konstruksi kedap, gas, serta risiko tidak terkuraskan. Nilai produksi lumpur dan interval pengurasan harus mempunyai sumber yang sesuai; buku ini tidak menetapkan interval universal. Penggunaan contoh septik rumah tunggal tidak boleh diperbesar hanya dengan faktor penduduk tanpa memeriksa konfigurasi dan operasi.

Untuk kasus Griya Asri, septik dibahas sebagai bagian alternatif R2. Bandingkan beban yang masih perlu diolah di hilir, bukan hanya biaya beton awal. Chernicharo dan von Sperling [R1, Bab 26.2] memberi konteks proses anaerobik konvensional. Ketentuan konstruksi/sanitasi Indonesia dan kesesuaian tapak harus ditelaah tersendiri bila dipakai untuk proyek nyata.

6.11 Anaerobic baffled reactor (ABR)

ABR menggunakan kompartemen bersekat untuk memperbesar kontak antara air dan biomassa anaerobik. Retensi biomassa dapat berbeda dari HRT; aliran naik, distribusi, jalur lumpur, dan bypass memengaruhi hasil. Baffle yang digambar tanpa mengatur bukaan dan elevasi dapat menghasilkan aliran pintas atau endapan di lokasi yang sulit dikuras.

$$V_{\text{liq}} = Q\theta, \qquad v_{\text{up}} = \frac{Q}{A_{\text{up}}}, \qquad OLR = \frac{L_{\text{COD}}}{V_{\text{active}}}$$

Contoh HRT **asumsi** 12 jam pada 150 m³/hari memberi volume cair 75 m³. COD masuk 120 kg/hari memberi OLR kasar 1,6 kg COD/m³/hari bila seluruh volume tersebut aktif. Tetapi jika ada zona inlet, penyimpanan lumpur, atau media dengan pori, volume aktifnya perlu dihitung ulang. Pada puncak, kecepatan naik dapat mengendalikan washout dan distribusi.

Periksa suhu, pH, alkalinitas, startup, beban kejut, gas dan jalur ventilasi, akses setiap kompartemen, dan pengurasan selektif. Pengolahan anaerobik tidak memberi jaminan nitrifikasi; rangkaian memerlukan pemeriksaan amoniak dan pengolahan lanjut. Penjelasan dasar anaerobik diambil dari [R1, Bab 24–26]; ukuran ABR spesifik memerlukan rujukan teknologi/data yang sesuai dan tidak diambil dari kriteria UASB secara otomatis.

6.12 Filter anaerobik

Filter anaerobik mempertahankan biomassa pada media. Ruang kosong media menyediakan jalur air, sementara permukaan menjadi tempat biofilm. Volume media, volume pori, luas spesifik, tinggi bed dan distribusi aliran mempunyai arti berbeda. Menggunakan V total media sebagai V air akan melebihkan HRT bila porositas di bawah satu.

$$\theta_{\text{void}} = \frac{\varepsilon V_{\text{media}}}{Q}, \qquad OLR_{\text{bed}} = \frac{L_{\text{COD}}}{V_{\text{media}}}$$

Sebagai ilustrasi V media 60 m³, porositas 0,60, dan Q 150 m³/hari memberi waktu pada pori 0,24 hari atau 5,76 jam. Bila penulis memakai HRT berdasarkan volume bed, angka yang dilaporkan 9,6 jam; kedua angka dapat muncul tetapi tidak boleh dibandingkan tanpa definisi. COD menuju filter harus berasal dari neraca unit sebelumnya, bukan COD mentah jika filter berada sesudah ABR.

Fouling dan akumulasi padatan dapat memperkecil pori dan menyebabkan short circuit. Rencanakan pre-treatment, distribusi inlet/outlet, pengurasan, akses penggantian media, gas dan bau. [R1, Bab 27.1] membahas filter anaerobik, termasuk hubungan media dan desain. Efisiensi tetap pada aplikasi merupakan pendekatan pra-rancangan; validasi kebutuhan polishing tetap diperlukan.

6.13 Biofilter aerob

Biofilm aerob mengolah substrat melalui difusi dan reaksi pada lapisan biologis. Oksigen serta substrat harus mencapai mikroorganisme. Jenis fixed bed, moving bed, trickling filter, dan submerged aerated biofilter mempunyai definisi beban dan kebutuhan alat berbeda. Kriteria suatu jenis tidak dapat dipindahkan ke jenis lain hanya karena sama-sama disebut biofilter [R2, Bab 13–16].

$$A_{\text{media}} = a_s V_{\text{media}}, \qquad L_A = \frac{L_{\text{substrate}}}{A_{\text{media}}}$$

Contoh a_s **asumsi** 200 m²/m³ dan V media 30 m³ memberi luas nominal 6.000 m². Jika umpan BOD 42 kg/hari, beban nominal 7 g BOD/m²/hari. Luas terlindung, luas total dan luas aktif biologis bukan selalu sama; gunakan data media dan konvensi kriteria yang seragam. Nitrifikasi perlu beban karbon, oksigen, ketebalan biofilm dan suhu yang memadai, bukan hanya luas nominal besar.

Sediakan pengendalian padatan lepas, distribusi udara/air, risiko sumbatan dan pencucian bila teknologinya memerlukan. Pada sistem bergerak, retensi media, tingkat pengisian dan pencampuran mempunyai kebutuhan khusus. Pada fixed bed, headloss serta akses pembersihan lebih dominan. Contoh ini memberi kerangka pembandingan R3, bukan klaim bahwa semua varian tersebut tersedia sebagai solver rinci di aplikasi.

6.14 Lahan basah buatan

Lahan basah menggabungkan hidraulika media, biofilm, tanaman dan transformasi zat. Jenis aliran permukaan, horizontal bawah permukaan, dan vertikal mempunyai kondisi oksigen serta mekanisme berbeda. Tanaman tidak boleh dianggap mengambil seluruh beban nitrogen; akumulasi pada biomassa dan panen hanyalah bagian dari neraca.

Untuk aliran media jenuh sederhana, pendekatan Darcy memberi kapasitas hidraulis. Nilai konduktivitas berubah akibat ukuran butir, penyumbatan dan umur operasi. Gradien yang diasumsikan harus cocok dengan elevasi muka air yang tersedia.

$$Q = K_s A_c i, \qquad \theta = \frac{\varepsilon A_{\text{plan}} H}{Q}$$

Contoh A plan 300 m², H media jenuh 0,6 m, dan porositas **asumsi** 0,35 memberi volume air 63 m³, sehingga HRT 0,42 hari pada Q 150. Menulis 300 × 0,6 /150 = 1,2 hari mengabaikan porositas. Kebutuhan luas proses harus diperiksa terpisah; luas yang lolos hidraulika belum tentu cukup untuk mutu.

Periksa pretreatment padatan, distribusi, drainase, akses, variasi muka air, nyamuk untuk konfigurasi yang relevan, kemampuan pemulihan media, dan kemungkinan aliran permukaan akibat sumbatan. Pada Griya Asri, luas tapak 756 m² harus memuat unit awal, lahan basah, jalur lumpur, utilitas dan akses. R5 tidak boleh dianggap muat hanya karena satu bed muat. Rumus di atas adalah dasar mekanistik; parameter empiris penyisihan spesifik belum ditetapkan dari data kasus.

6.15 Menyatukan lembar unit

Gunakan format konsisten: fungsi, posisi, debit/beban inlet, sumber kriteria, rumus, substitusi, dimensi efektif, dimensi luar, peralatan, pemeriksaan, operasi, dan temuan. Tulis semua pembulatan dan dampaknya. Jika luas dibulatkan naik tetapi kedalaman turun karena batas galian, hitung ulang volume dan HRT; jangan mempertahankan nilai lama.

Pemeriksaan silang	Contoh masalah yang dicari
Jumlah jalur aktif	Volume total keliru saat satu unit tidak bekerja
Basis aliran	Q bersih dipakai pada inlet clarifier dengan RAS
Basis padatan	MLSS disamakan dengan MLVSS
Waktu nominal/efektif	V/Q dianggap t10 disinfeksi
Volume media/air	Porositas diabaikan
Residual	Lumpur dan filtrat tidak punya jalur
Geometri	Volume freeboard dikreditkan sebagai volume proses

Tautkan lembar unit ke Rancang, teori dasar, dan gambar yang sesuai. Hasil simulator dapat digunakan sebagai pembanding awal. Bila berbeda dari contoh buku, telusuri parameter, basis, pembulatan dan model; jangan mengubah contoh agar tampak sama tanpa alasan teknis.

6.16 Latihan dan pembahasan

BR06-01 · Volume disinfeksi

Q puncak 15,625 m³/jam, t10 dituju 0,5 jam dan b = 0,5. Berapa volume efektif contoh?

▼ Lihat pembahasan

V = Qp × t10/b = 15,625 m³. Volume 7,8125 m³ hanya memberi waktu nominal 30 menit dan waktu efektif 15 menit untuk b yang sama. Nilai b serta CT perlu dasar pengujian/rujukan; contoh ini belum menetapkan dosis final.

BR06-02 · Volume pori filter

Media 60 m³, porositas 0,6 dan Q 150 m³/hari. Berapa HRT air dalam pori?

▼ Lihat pembahasan

Volume pori 36 m³; HRT = 36/150 = 0,24 hari = 5,76 jam. HRT berdasarkan volume bed 9,6 jam adalah definisi lain dan harus diberi label. Penyumbatan dapat mengubah volume efektif dan pola aliran.

Tugas keluaran: susun sembilan lembar unit R4 dan daftar antarmuka inlet–outlet. Pilih dua unit alternatif, bandingkan mekanisme dan data yang masih dibutuhkan. Bawa seluruh temuan terbuka ke Bagian 7.

Referensi dan batas cakupan

- **[R1]** Von Sperling & Chernicharo (2005), *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, Volume One. Bab 5 (hlm. 244–278, jalur lumpur), 10 (421–456, sedimentasi), 11 (457–491, aerasi), 24–26 (663–727, anaerobik), 27.1 (728–739, filter anaerobik). PDF koleksi.
- **[R2]** Von Sperling (2007), *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. Bab 2–4 (hlm. 17–103), 6–7 (121–184), 13–16 (265–312). PDF koleksi. Kriteria contoh angka buku ini dipisahkan dari angka sumber; pembaca dapat menelusuri teori pada bab yang disebut.
- **[R3]** PUPR (2018), *Buku A: Panduan Perencanaan Teknik Terinci Sub-sistem Pelayanan dan Sub-sistem Pengumpulan*. Koleksi. Dipakai untuk hubungan layanan/pengumpulan; tidak dinyatakan sebagai sumber semua kriteria unit pengolahan di atas.
- **[R4]** Permen LH/BPLH 11/2025, Lampiran I untuk pemilihan target. Standar teknologi pada Lampiran III mempunyai lingkup kelompok debit tersendiri; jangan memperlakukannya sebagai desain otomatis lengkap untuk kasus 150 m³/hari.

Edisi 1 · 14 November 2026. Pembahasan mekanisme pemisah minyak, pompa, ambang ukur dan lahan basah memakai konservasi/hidraulika dasar yang ditunjukkan; dimensi contoh bukan standar teknis tersertifikasi. Desain rinci memerlukan rujukan teknologi, data alat, survei dan pemeriksaan oleh perencana yang berwenang.