

STRUKTUR PERMEABEL

Building with Nature untuk
memulihkan pantai berlumpur
tropis terabrasi



SERI PEDOMAN TEKNIS

Pedoman Analisis Sistem Alami ini merupakan bagian dari seri Pedoman Teknis mengenai upaya teknis dan sosial-ekonomi dari Building with Nature yang, bila digabungkan, membantu memulihkan pantai berlumpur tropis yang terabrasi. Pedoman ini didasarkan pada wawasan dan pembelajaran yang diperoleh selama pelaksanaan percontohan skala kabupaten di Jawa Tengah sebagai bagian dari program Building with Nature (Membangun bersama Alam) Indonesia. Dengan membagikan pembelajaran yang kami peroleh dalam pedoman praktis ini, kami bertujuan untuk memfasilitasi replikasi oleh lembaga pemerintah, sektor air dan akuakultur, serta organisasi non-pemerintah. Upaya Building with Nature harus menjadi bagian dari pengelolaan wilayah pesisir terpadu dan memerlukan pemahaman masalah dan analisis sistem yang menyeluruh. Para pemangku kepentingan yang tertarik untuk mereplikasi pendekatan kami bertanggung jawab penuh atas keberhasilan dan keberlanjutan pendekatan ini.

PEDOMAN YANG TERSEDIA

- #1 Pendekatan Building with Nature
- #2 Pemahaman Sistem
- #3 Struktur Permeabel
- #4 Budidaya Tambak Terhubung Mangrove
- #5 Budidaya Tambak Berkelanjutan Melalui Sekolah Lapangan Pesisir

PENULIS

Tom Wilms (Witteveen+Bos)
Bregje van Wesenbeeck (Deltares)
Femke Tonnejck (Wetlands International)

PENINJAU

Thorsten Albers (Von Liebermann), Semeidi Husrin (Kementerian Perikanan dan Kelautan Indonesia), Dede Sulaiman (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia), Apri Susanto, Susanna Tol (Wetlands International), Katherine Cronin (Deltares), Els van Lavieren, Sieuw Naipal (Conservation International), Fokko van der Goot (EcoShape).

REFERENSI YANG DISARANKAN

Willms, T., Van Wesenbeeck, B.K., & Tonneijk, F. (2020). Struktur Permeabel: Building with Nature untuk memulihkan pantai berlumpur tropis terabrasi. Laporan teknis EcoShape, Dordrecht, Belanda.

PENGAKUAN & PENGHARGAAN

Building with Nature Indonesia merupakan sebuah program dari Wetlands International, EcoShape, Kementerian Kelautan dan Perikanan Indonesia, dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia, yang bekerja sama dengan Witteveen+Bos, Deltares, Wageningen University & Research, UNESCO-IHE, Blue Forests, TU Delft, Kota Kita dan Von Lieberman, dengan dukungan dari Universitas Diponegoro, dan masyarakat setempat.

"Building with Nature Indonesia" didukung oleh Dutch Sustainable Water Fund, sebuah program dari Netherlands Enterprise Agency atas nama Kementerian Luar Negeri Belanda, Kementerian Federal Jerman untuk Lingkungan Hidup, Konservasi Alam dan Keselamatan Nuklir (BMU) sebagai bagian dari International Climate Initiative (IKI), Waterloo Foundation, Otter Foundation, Topconsortia for Knowledge and Innovation, dan Mangroves for the Future.

Kredit foto sampul: ©Boskalis





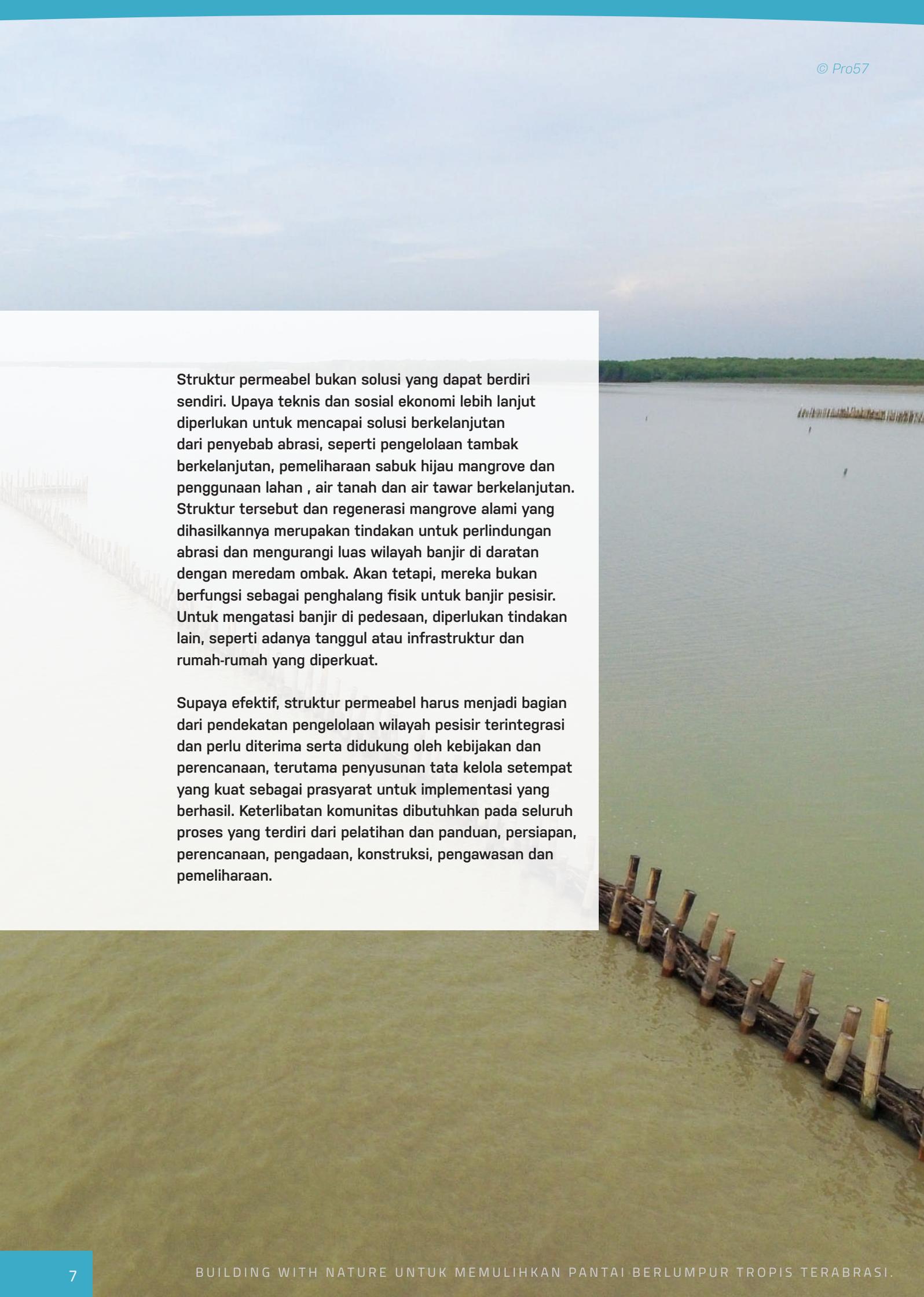
DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF	6
1 PENGANTAR	8
2 DESAIN	10
2.1 Desain spasial	10
2.1.1 Tujuan dan persyaratan fungsional	10
2.1.2 Desain spasial	10
2.2 Desain struktur permeabel	15
2.2.1 Tujuan dan persyaratan fungsional	15
2.2.2 Desain struktural	16
2.3 Proses desain	27
3 KONSTRUKSI	28
3.1 Penjadwalan waktu	28
3.2 Keterlibatan pemangku kepentingan	29
3.3 Perizinan	30
3.4 Kunjungan lokasi dan persiapan	30
3.5 Tender konstruksi	31
3.6 Pelatihan konstruksi	32
3.7 Pengerjaan konstruksi	34
4 OPERASIONAL	38
4.1 Pengawasan	38
4.1.1 Pengawasan pada tingkat lanskap	38
4.1.2 Pengawasan terhadap struktur permeabel	39
4.1.3 Daya tahan	40
4.2 Pemeliharaan dan perbaikan	41
5 REFERENSI DAN SUMBER DAYA	42
LAMPIRAN 1: PENGARUSUTAMAAN INDONESIA	45
LAMPIRAN 2: DELTA MEKONG, VIETNAM	51
LAMPIRAN 3: BAGAN ALUR PENGAWASAN & PEMELIHARAAN	54
X: DAFTAR SPESIES, SINGKATAN, GAMBAR, DAN TABEL	57

RINGKASAN EKSEKUTIF

Untuk melakukan rekolonisasi hutan mangrove demi menstabilkan garis pantai yang terkikis, struktur permeabel digunakan untuk menciptakan zona terlindung dengan kecepatan aliran dan dampak ombak yang berkurang, dengan demikian memfasilitasi penumpukan sedimen tersuspensi. Struktur permeabel paling sesuai diterapkan di sepanjang garis pantai berlumpur dengan sedimen tersuspensi berlimpah di kolom air. Pada umumnya, struktur permeabel merupakan konstruksi seperti pagar dan terdiri dari dua baris tiang vertikal dengan ranting-ranting kering diantaranya. Implementasi dari struktur permeabel merupakan desain berteknologi sederhana, tetapi membutuhkan desain yang rumit berdasarkan pemahaman komprehensif terhadap proses biofisik, pengawasan berkelanjutan, dan manajemen adaptif (*learning by doing*).

Keberhasilan rekolonisasi yang paling efektif adalah ketika menciptakan kembali kondisi abiotik dan memungkinkan regenerasi alami untuk terjadi. Struktur permeabel bisa dianggap sebagai upaya sementara untuk memungkinkan rekrutmen mangrove. Mangrove hanya perlu tinggal cukup lama di suatu tempat untuk rekolonisasi, setelah itu ekosistem dapat mempertahankan dirinya sendiri. Selama itu struktur memerlukan pemeliharaan rutin. Pada kondisi tertentu seperti penurunan tanah yang signifikan atau *suplai* sedimen yang menurun, efektivitas dari struktur permeabel pun menurun. Tergantung daya tahan bahan yang tersedia dan lokasi geografis struktur dalam kondisi cuaca ekstrim, struktur ini dapat cukup rentan terhadap kerusakan yang melemahkan. Kegunaannya juga akan tergantung kepada berbagai faktor setempat yang perlu diperhitungkan ketika memutuskan dimana dan bagaimana menggunakan struktur tersebut. Riset mendalam mengenai daya tahan bahan dan perihal desain struktural sangat berharga seiring pendekatan ini dikembangkan dan disempurnakan di tahun-tahun mendatang.



Struktur permeabel bukan solusi yang dapat berdiri sendiri. Upaya teknis dan sosial ekonomi lebih lanjut diperlukan untuk mencapai solusi berkelanjutan dari penyebab abrasi, seperti pengelolaan tambak berkelanjutan, pemeliharaan sabuk hijau mangrove dan penggunaan lahan, air tanah dan air tawar berkelanjutan. Struktur tersebut dan regenerasi mangrove alami yang dihasilkannya merupakan tindakan untuk perlindungan abrasi dan mengurangi luas wilayah banjir di daratan dengan meredam ombak. Akan tetapi, mereka bukan berfungsi sebagai penghalang fisik untuk banjir pesisir. Untuk mengatasi banjir di pedesaan, diperlukan tindakan lain, seperti adanya tanggul atau infrastruktur dan rumah-rumah yang diperkuat.

Supaya efektif, struktur permeabel harus menjadi bagian dari pendekatan pengelolaan wilayah pesisir terintegrasi dan perlu diterima serta didukung oleh kebijakan dan perencanaan, terutama penyusunan tata kelola setempat yang kuat sebagai prasyarat untuk implementasi yang berhasil. Keterlibatan komunitas dibutuhkan pada seluruh proses yang terdiri dari pelatihan dan panduan, persiapan, perencanaan, pengadaan, konstruksi, pengawasan dan pemeliharaan.



Gambar 1. Struktur permeabel di Timbulsloko (Demak, Indonesia) © Tom Wilms, Witteven+Bos

1 PENGANTAR

Hutan mangrove yang sehat penting untuk dinamika sedimen yang seimbang di pantai berlumpur tropis. Mangrove dapat menstabilkan garis pantai dengan mengurangi abrasi dan meningkatkan sedimentasi melalui pengurangan gelombang dan arus (Winterwerp *et al.* 2005, Mclor *et al.* 2014). Akan tetapi, beberapa tahun terakhir, penebangan mangrove yang dilakukan oleh manusia dan pembangunan infrastruktur pesisir telah mengganggu keseimbangan dinamis pada keluar masuknya sedimen yang memicu erosi garis pantai berpasir tropis yang parah (van Wesenbeck *et al.* 2016, Schmit *et al.* 2013), yang dipercepat oleh efek berskala lebih besar seperti penurunan tanah yang disebabkan oleh ekstraksi air tanah, kondisi hidrodinamis yang berubah termasuk naiknya permukaan air laut dan meningkatnya frekuensi serta intensitas badai akibat perubahan iklim global. Untuk menghentikan erosi pantai dan mendapatkan kembali garis pantai yang stabil, salah satu langkah kuncinya adalah mengurangi atau menghentikan hilangnya sedimen. Pengelola pesisir kerap mencoba untuk mengatasi erosi pesisir dengan struktur keras, tetapi umumnya tindakan tersebut hanya efektif pada skala lokal dan tidak berkelanjutan karena mereka membentuk gangguan lain pada dinamika sedimen alami (Winterwerp *et al.* 2013).

Pedoman teknis ini membahas penerapan struktur permeabel sebagai sebuah solusi yang dekat dengan alam dan berkelanjutan untuk meningkatkan sedimentasi di sepanjang garis pantai yang terabrasi untuk memungkinkan terjadinya rekolonisasi mangrove dan stabilitas wilayah pasang surut. Rekolonisasi mangrove dengan menggunakan struktur permeabel saat ini diterapkan di Jawa Tengah (Indonesia), Delta Mekong (Vietnam, lihat Lampiran 1) dan dekat Paramaribo (Suriname). Teknik



Gambar 2. Konstruksi struktur permeabel oleh para perempuan setempat di Timbulsoko (Demak, Indonesia) © Nanang Sujana

yang sama telah diterapkan dengan sangat baik selama berabad-abad lamanya di Belanda dan Jerman untuk menciptakan rawa asin dan dataran banjir yang melindungi pertahanan laut.

Panduan ini dirancang untuk lembaga pemerintahan pada tingkat nasional, provinsi, dan kabupaten yang menjalankan proyek pemulihan garis pantai, juga menyajikan pedoman bagi sektor swasta untuk mendukung desain dan konstruksi struktur permeabel pada program pemulihan. Selain itu, pedoman ini juga akan berguna bagi komunitas internasional yang bekerja dengan Building with Nature dan infrastruktur hijau dan alami.

Bab 2 memaparkan deskripsi desain struktur permeabel yang mendetil yang dibedakan pada desain spasial keseluruhan dan struktural. Semua elemen struktur dideskripsikan secara mendetil. Bab 3 menjelaskan mengenai proses konstruksi termasuk jadwal umum, persiapan lokasi, proses tender dan pelatihan. Bab 4 memuat fase operasional yang menjelaskan mengenai instruksi pengawasan dan pekerjaan pemeliharaan. Bab 5 memuat pedoman mengenai bagaimana mendapatkan lebih banyak informasi dan dukungan.

2 DESAIN

Bab ini membahas mengenai desain struktur permeabel pada tingkat lanskap dan satuan unit. Penyusunan spasial dari struktur permeabel pada tingkat lanskap harus berdasarkan pada pemahaman menyeluruh terhadap sistem sehingga solusi mengarah pada akar penyebab masalah. Pemahaman sistem merupakan sebuah topik dari panduan yang berbeda, dan kajiannya menyertakan sistem fisik, sosial ekonomi, dan institusional pada lokasi proyek. Pada tingkat spasial, berbagai proses pada sebuah sistem harus dipahami untuk memaksimalkan penggunaan dan kegunaannya, yang dijelaskan pada seri 'System Understanding (Pemahaman Sistem)'. Pada tingkat struktur permeabel satuan unit, dibutuhkan desain teknis mendetil untuk memungkinkan fungsi yang jelas dari sebuah struktur.

2.1 DESAIN SPASIAL (TINGKAT LANSKAP)

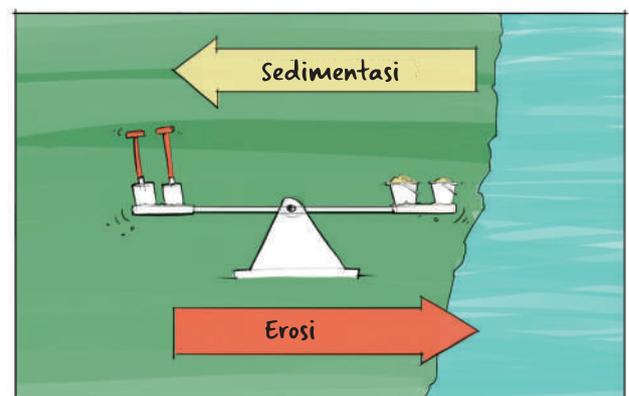
Struktur permeabel harus merupakan bagian dari sebuah rencana pengelolaan wilayah pesisir terintegrasi. Yang berarti, struktur akan dibangun dalam beberapa tahun, oleh karena itu diperlukan desain dan perencanaan menyeluruh.

2.1.1 Tujuan dan persyaratan fungsional

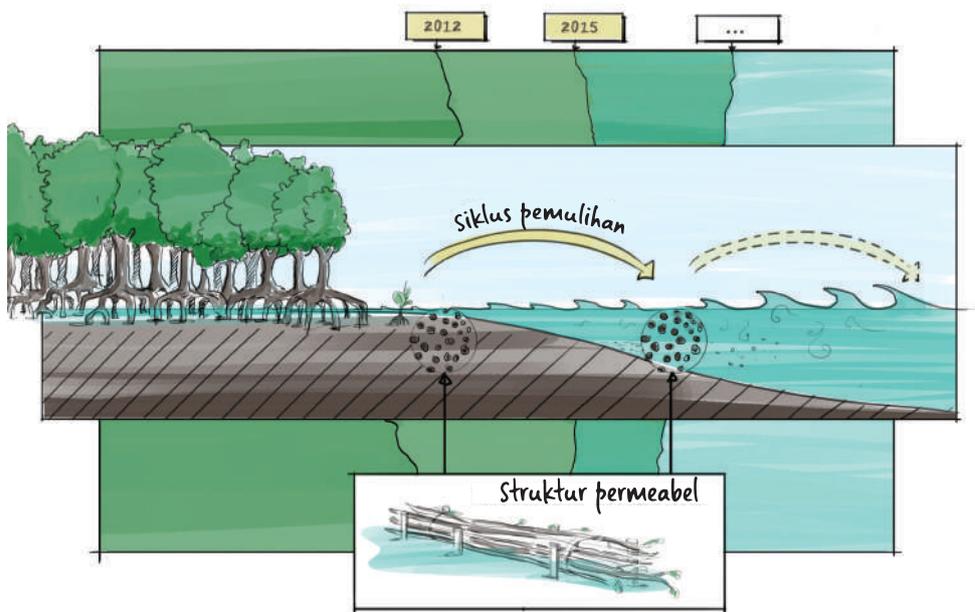
Pada tingkat lanskap, tujuan dari struktur permeabel adalah:

1. Untuk menghentikan erosi dan mendapatkan kembali garis pantai yang stabil dengan memulihkan keseimbangan sedimen di pesisir dari abrasi menjadi akresi.
2. Untuk menciptakan kondisi rekolonisasi mangrove, sehingga dapat mencegah erosi, menstabilkan garis pantai dan menyediakan layanan ekosistem tambahan.

Hutan mangrove dan pesisir yang sehat berada pada keseimbangan dinamis antara erosi dan akresi sedimen sebagai hasil dari aktivitas ombak, arus gelombang dan transportasi sedimen (Winterwerp *et al.* 2005). Untuk pantai yang terakresi, transportasi sedimen sisa merupakan hal yang positif sehingga sistem pesisir mampu menjaga kecepatannya secara bertahap dan perlahan dari naiknya permukaan laut dan penurunan tanah alami dan pulih secara alami setelah peristiwa erosi seperti badai besar.



Gambar 3. Keseimbangan sedimen pada kondisi yang tidak terganggu © Joost Fuitsma, JAM Visual Thinking



Gambar 4. Struktur baru dapat dipasang mengarah ke laut ketika sedimen yang terjebak sudah cukup dibalik struktur yang ada © Joost Fluitsma, JAM Visual Thinking

Untuk menghentikan proses erosi dan mendapatkan kembali garis pantai yang stabil, langkah penting pertama adalah memulihkan keseimbangan sedimen alami. Dengan menciptakan kondisi dimana sedimentasi ditingkatkan, lebih banyak sedimen yang tersimpan di pantai daripada yang terkikis. Hal ini dapat dicapai dengan menerapkan struktur permeabel untuk menciptakan wilayah dengan aliran dan turbulensi yang berkurang. Sedimen halus dan endapan tidak lagi terbawa oleh ombak yang membawanya ke laut pada siklus pasang surut selanjutnya. Hasilnya adalah aliran sedimen di daratan. Ketika erosi berkurang dan akresi dimulai, mangrove dapat pulih karena area sudah tidak begitu dalam dan area pasang surut tetap kering dalam waktu yang cukup untuk anakan pohon bertumbuh. Wilayah dengan energi rendah juga tercipta dibalik struktur permeabel yang semakin meningkatkan pemulihan mangrove dengan menyediakan area terlindungi sehingga benih mangrove tumbuh karena tidak terbawa oleh arus dan ombak.

Struktur permeabel baru dapat dipasang dengan mengarah ke laut ketika sedimen yang cukup telah terjebak dibalik struktur yang ada. Dengan cara ini, area intertidal dapat tumbuh ke garis pantai yang dituju. Garis pantai yang dituju ini perlu ditentukan dengan mempertimbangkan keberadaan padang lamun, terumbu karang, dataran lumpur, atau beting (chenier) untuk menghindari kerusakan pada habitat berharga ini dan untuk menghormati serta memulihkan transisi alami antara jenis habitat yang berbeda.

Penggunaan struktur permeabel untuk menjebak sedimen yang dikombinasikan dengan perbaikan mangrove cocok dilakukan pada sistem pantai berlumpur dimana masih terdapat ketersediaan sedimen halus (lumpur) dalam jumlah besar dimana mangrove tumbuh sebelumnya. Akan optimal ketika masih ada mangrove pada lanskap sekitar. Buah, propagul dan benih pohon yang ada dapat ditransportasikan secara alami ke lokasi dimana mereka dapat tumbuh. Ketika sudah tidak terdapat mangrove lagi, regenerasi harus dibantu dengan penyemaian atau menanam dengan distribusi spesies yang sesuai. Ketika garis pantai yang dituju telah diperbaharui, struktur permeabel akan diperlukan secara permanen di depan untuk meredam energi gelombang.

Persyaratan fungsional tersebut membentuk dasar desain spasial dari struktur permeabel, implementasinya dan pengawasan berikutnya. Khusus untuk pemulihan mangrove dan langkah sosial ekonomi akan didiskusikan lebih detail pada pedoman teknis terpisah pada seri ini. Peranan mangrove untuk pertahanan pesisir dijelaskan secara detail pada pedoman terpisah untuk para pembuat keputusan (Spalding *et al.* 2014).

2.1.2 Desain spasial

Desain spasial harus mempertimbangkan beberapa faktor seperti batimetri lepas pantai, morfodinamik, hidrologi, dan perkembangan garis pantai jangka panjang karena faktor-faktor tersebut mempengaruhi lokasi struktur. Untuk jangka panjang, pengadaan kembali hutan mangrove pada area intertidal yang dipulihkan menghasilkan pemulihan sabuk mangrove pesisir alami yang terdiri dari berbagai spesies asli.

PERLINDUNGAN OMBAK

Struktur permeabel harus dipasang agar dapat menyediakan perlindungan dari ombak. Pada awalnya, diperlukan data dasar mengenai iklim ombak, seperti arah ombak utama, ketinggian ombak signifikan dan maksimum. Ketinggian ombak maksimum adalah 1 m hingga 1,5 m dan periode maksimum adalah 8 detik. Struktur permeabel pada laporan ini tidak dapat menahan ombak yang lebih besar. Struktur harus diorientasikan tegak lurus ke arah ombak utama sehingga area terlindungi yang tercipta akan memungkinkan akumulasi sedimen dan rekolonisasi alami mangrove berikutnya.

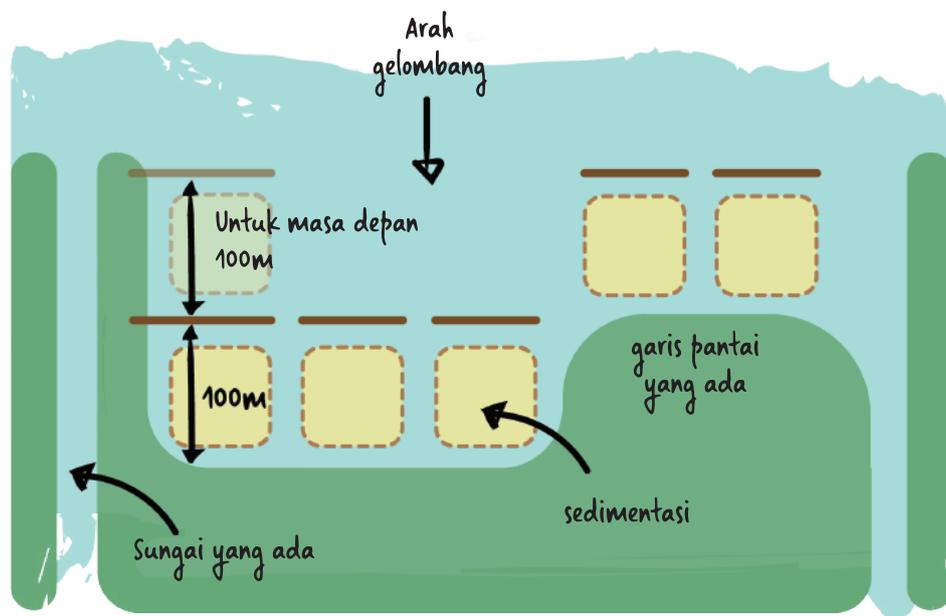
LOKASI SUNGAI

Selain itu, penataan spasial struktur harus mempertimbangkan lokasi sungai dan perkembangannya. Sungai merupakan faktor penting untuk drainase pada area tersebut dan untuk mengangkut sedimen yang mengendap dan bibit mangrove. Struktur tidak boleh menghalangi sungai yang ada. Lebar dari bukaan antar struktur tergantung kepada prisma pasang surut dan iklim gelombang. Lebar minimum dari bukaan ditentukan oleh prisma pasang surut. Bukaan harus cukup lebar untuk aliran pasang surut untuk memasuki area di belakang struktur permeabel secara tidak terbatas. Lebar maksimum dari bukaan ditentukan oleh iklim gelombang. Bukaan tidak boleh terlalu lebar sehingga gelombang dapat memasuki area dibalik struktur permeabel dan mengaduk sedimen. Bukaan dengan lebar antara 5-10 m efektif pada area dengan rentang pasang surut rata-rata 1 m, yang memungkinkan gelombang untuk mengalir dengan bebas dan memaksimalkan transportasi sedimen dibalik struktur. Pada kasus di Belanda (mesotidal), bukaan membentuk 10% dari total panjang struktur depan. Pada kasus di Indonesia (microtidal), bukaan bervariasi antara 5-10% dari panjang struktur depan. Berdasarkan pengamatan, tidak ada tanda-tanda efek yang membatasi bukaan tersebut.

JARAK ANTAR STRUKTUR

Pada umumnya, jarak 100 m dari garis pantai direkomendasikan untuk instalasi struktur permeabel. Jarak ini diterapkan di Belanda dan Demak, Indonesia. Grid dengan ukuran 200 m x 200 m ternyata terlalu besar karena terbentuknya

gelombang internal (Dijkema *et al.* 2011). Manajemen adaptif disarankan untuk mencapai jarak optimal antar struktur permeabel. Proses ini menyertakan pengukuran lapangan, pemodelan, analisis data, evaluasi dan optimalisasi desain. Jika memungkinkan, struktur harus terhubung dengan struktur pelindung (revetment), hutan atau daratan untuk menghindari abrasi parah dan meningkatkan stabilitas struktur. Panjang dari setiap struktur tergantung kepada kondisi setempat, seperti ukuran butiran dan jumlah dari sedimen yang tertahan, rentang pasang surut dan parameter gelombang. Tidak disarankan untuk membangun beberapa baris struktur permeabel di depan satu sama lain secara bersamaan, karena sumber dari sedimen untuk struktur berada pada zona pantai dan sedimen tidak akan mampu lagi mencapai bagian belakang, karena langsung mengendap di belakang struktur, yang dapat menyebabkan genangan air.



Gambar 5. Sketsa jarak struktur garis pantai yang ada. Semua struktur dapat diletakkan sekaligus. Prioritasnya adalah yang paling mengarah ke daratan © Witteveen+Bos

LAPISAN TANAH KUAT YANG BERGUNA PADA SISTEM

Desain spasial harus selalu mempertimbangkan posisi dari lapisan tanah yang kuat dan berguna seperti bekas pematang tambak. Struktur arus diletakkan di atas atau di samping bekas tambak yang ditinggalkan. Pematang tambak lama tersebut terdiri dari tanah keras dan cukup kuat untuk menyediakan dasar yang kuat, meminimalisir abrasi di sekitar tiang dan di bawah ranting kering. Lokasi persis dari struktur permeabel harus

berdasarkan survey dan didiskusikan dengan masyarakat setempat.

Gambar 6 menunjukkan desain spasial dari struktur permeabel di Demak, Indonesia. Foto aerial diambil ketika air surut pada bulan Februari 2016, 6 bulan setelah konstruksi. Yang terlihat adalah:

- Struktur diletakkan bersebelahan dengan garis pantai yang ada dengan tujuan untuk membangun dari area mangrove yang ada. Pada bagian bawah dari gambar tampak sedimen terlihat jelas dibawah air yang surut dan mangrove mulai berekolonisasi secara alami.
- Struktur di tengah area dibangun terlalu cepat. Sedimen langsung mengendap dibalik struktur dan tidak mencapai bagian yang mengarah ke daratan dari area.

Gambar 6. Contoh dari desain spasial di Timbulsloko (Demak, Indonesia) © Pro57



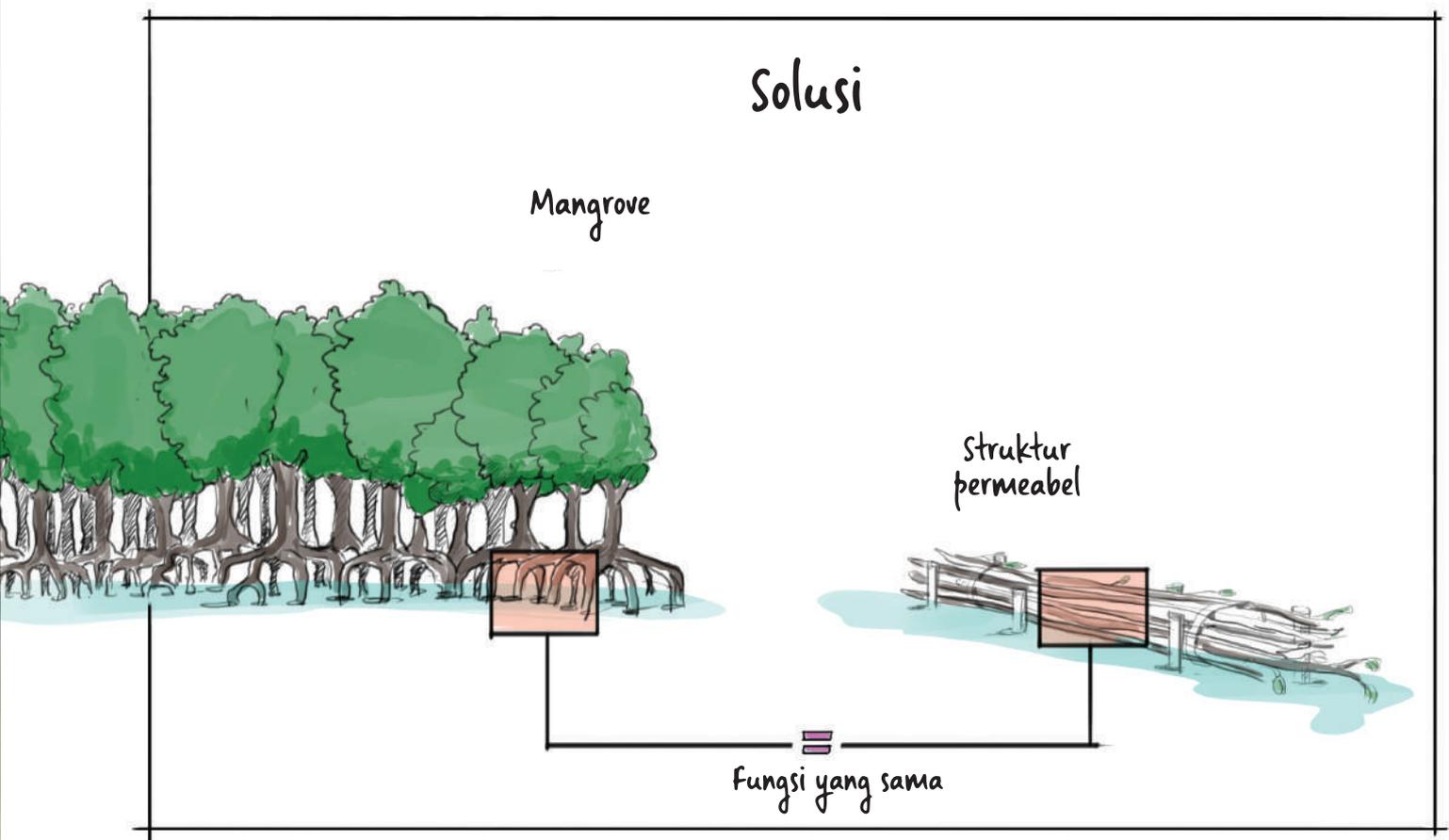
Struktur ini dipasang terlalu cepat dan sedimentasi mengendap dibalik struktur ini, sementara struktur ini dibutuhkan pada struktur-struktur lain yang mengarah ke daratan.

Sedimentasi
dibalik struktur

2.2 DESAIN STRUKTUR PERMABEL (TINGKAT INDIVIDU)

2.2.1 Tujuan dan persyaratan fungsional

Struktur permeabel harus memenuhi beberapa persyaratan. Pertama, struktur harus menghasilkan area kecepatan orbit dan turbulensi yang berkurang. Dia harus menyediakan pembuangan energi gelombang yang cukup sehingga ketinggian gelombang signifikan menurun ketika gelombang melewati struktur permeabel. Secara khusus, bahan pengisi mengakomodasinya. Kedua, permeabilitas struktur harus dapat dilewati oleh sedimen tersuspensi yang meningkatkan jumlah sedimen yang masuk ke dalam area yang terlindungi yang memungkinkan sedimen untuk tinggal, mengendap, dan memadat. Ketiga, refleksi gelombang harus dibatasi sehingga erosi di dasar (pengikisan) dapat dihindari dan keruntuhan struktural dapat dicegah. Struktur permeabel harus tetap berada di tempat untuk waktu yang cukup lama setidaknya hingga mangrove pulih, rata-rata akumulasi sedimen diperkirakan berlangsung selama 2 – 5 tahun dan rata-rata pemulihan mangrove berlangsung sekitar 3 – 5 tahun.



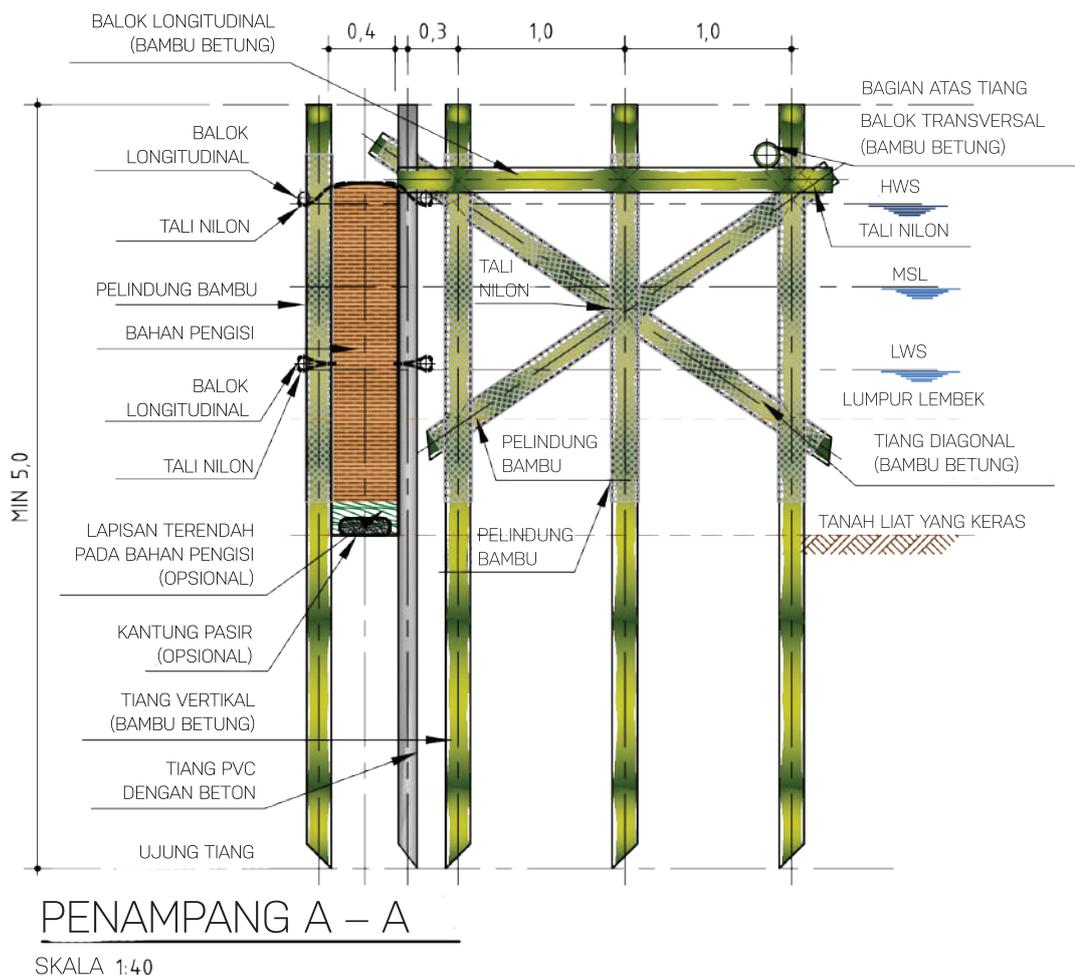
Gambar 7. Struktur permeabel meniru sistem akar dari mangrove alami yang memecahkan ombak yang datang, mengurangi kecepatan orbit dan turbulensi serta menjebak sedimen.
© Joost Fluitsma – JAM Visual Thinking

2.2.2 Desain Struktural

Pada umumnya, struktur permeabel merupakan struktur seperti pagar dan terdiri dari dua baris tiang vertikal dengan isian ranting kering diantaranya. Kawat diikatkan pada bahan pengisi agar tetap berada di tempat. Kawat diikatkan ke batang horizontal yang ditempelkan pada tiang vertikal. Jaring dapat digunakan untuk menjaga bahan pengisi. Pada bagian ini, konsep desain yang beragam dari struktur permeabel satuan dipresentasikan, dengan mempertimbangkan tujuan dan persyaratan fungsional (bagian 2.1 dan 2.2). Desain struktur permeabel dikembangkan dan dibangun pada berbagai lokasi, dengan desain berbeda karena kondisi setempat yang berbeda atau hambatan lainnya. Pengetahuan yang didapat dari pengalaman ini dibagikan dan resiko yang mungkin terjadi diatasi.

KOMPONEN DARI STRUKTUR PERMEABEL

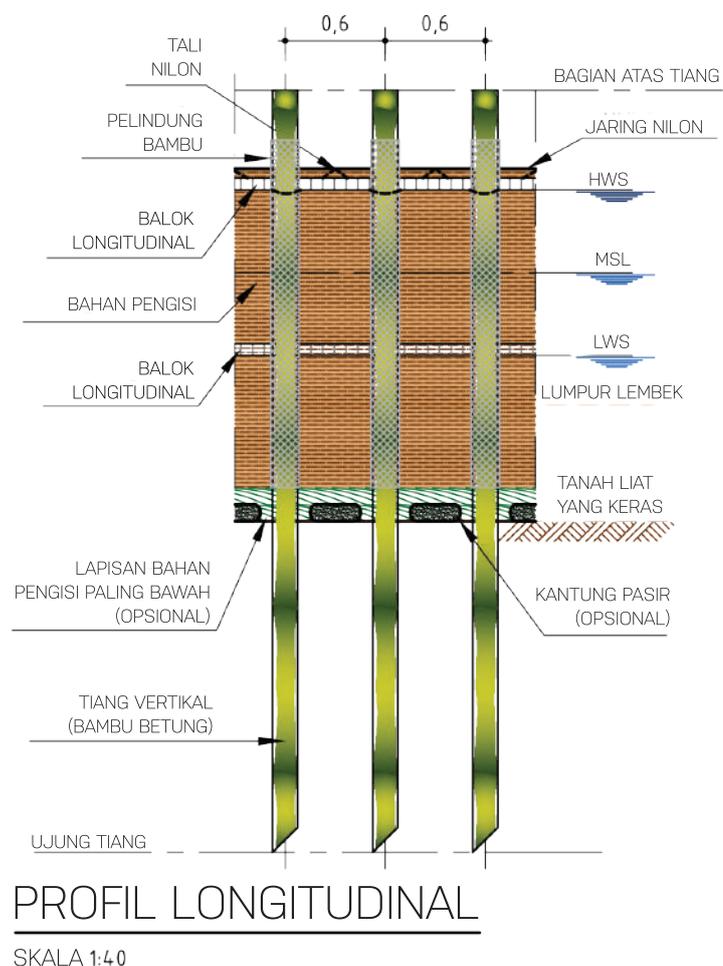
Persyaratan fungsional untuk sebuah struktur individu dapat dihubungkan ke berbagai komponen berbeda pada struktur permeabel seperti yang ditunjukkan pada gambar 8, yaitu:



Gambar 8 (bagian 1). Komponen dari struktur permeabel © Witteveen+Bos

- Bahan pengisi, merupakan benda diantara tiang, memiliki fungsi berikut: melemahkan ombak, mengurangi kecepatan aliran dan permeabilitas untuk sedimen tersuspensi.
- Tiang vertikal yang membuat bahan pengisi tetap berada ditempatnya. Kekuatan konstruksi berasal dari tiang yang ditancapkan ke tanah.
- Balok horizontal, yang menghubungkan tiang vertikal dan digunakan untuk menempelkan kawat untuk menjaga bahan pengisi tidak berpindah. Mereka tidak harus menyatukan batang. Mereka juga tidak perlu menahan beban dengan elemen mengapung berukuran besar.
- Kawat dan jaring membuat bahan pengisi berada diantara tiang dan mencegah bahan pengisi terbawa air.

Setiap komponen dapat terbuat dari bahan berbeda. Pilihan bahan dan dimensi masing-masing komponen merupakan inti dari proses desain. Gambar 8 menunjukkan desain umum dari struktur permeabel dengan empat komponen. Table 1 menggambarkan beberapa bahan alternatif untuk setiap komponen dari struktur permeabel, berdasarkan pengalaman di Demak.



Gambar 8 (bagian 2). Komponen dari struktur permeabel © Witteveen+Bos

Tabel 1. Beberapa bahan alternatif untuk setiap komponen pada struktur permeabel, berdasarkan pengalaman di Demak.

ASPEK	TIANG VERTIKAL	BAHAN PENGISI + LAPISAN DASAR
Fungsi		Bahan pengisi melemahkan ombak dan membuat sedimen dapat melewatinya. Lapisan dasar menciptakan transisi ke lapisan lumpur.
Persyaratan	Kekuatan dari tiang vertikal bersifat penting bagi stabilitas secara keseluruhan.	Bahan pengisi harus berada di tempatnya sepanjang waktu untuk melemahkan energi ombak. Tidak boleh bergerak ke arah mana pun. Pada arah horizontal dia harus ditekan diantara tiang vertikal. Pada arah vertikal dia harus diletakkan tepat diantara lapisan dasar yang kaku dan kawat atas. Bahan pengisi membutuhkan permeabilitas untuk membatasi refleksi dan mengurangi ombak.
SPESIFIKASI		
Diameter	0,12m – 0,15m pada kedua ujung. 1	Isian ranting: antara 0,02m – 0,10m
Panjang	Kurang lebih 4m.	Lebih panjang dari jarak antara 3 tiang ($3 \times 0,60\text{m} = 2,00\text{m}$).
Bagian bawah	2/3 dari panjang harus berada pada lapisan tanah yang keras. Minimal 2m pada lapisan yang keras. 2	Berada langsung pada bagian atas dari bahan dasar yang keras. Terdapat lapisan lumpur yang lembek. Pengisi harus ditekan ke dalam lapisan ini hingga berada pada lapisan dasar yang keras.
Bagian atas	Kurang lebih 0,50m diatas MHWS.	Kurang lebih 0,30m diatas MHWS untuk mengimbangi agar tidak tenggelam dan tekanan dari bahan pengisi.
Daya tahan yang diperlukan	5 tahun atau lebih.	5 tahun atau lebih.

¹ Diameter yang lebih besar akan lebih keras, tetapi lebih sulit untuk dipasang dan lebih mahal. Studi struktural tidak dilakukan pada diameter yang diperlukan, karena kekuatan tiang dipengaruhi oleh banyak faktor yang tidak pasti, seperti perilaku sedimen, tekanan gelombang yang dikombinasikan dengan permeabilitas, ketebalan dinding, spesifikasi bahan lain dan bahan pengisi.

JARING + TALI	KAWAT DI ATAS	BALOK HORIZONTAL
Jaring mempertahankan semua bahan pengisi untuk tetap menyatu. Tali menjaga agar setiap bundel tetap menyatu.	Kawat di atas menjaga bahan pengisi tetap berada di tempat, mencegah bahan pengisi supaya tidak hanyut.	Balok horizontal digunakan untuk menempelkan kawat dan memberikan kekuatan tambahan.
Jaring dan tali untuk bundel dapat menggunakan kualitas yang lebih rendah. Ukuran jalanya harus cukup lebar untuk tidak menjebak hewan	Kawatnya harus kuat, tahan lama dan mudah diikat simpul.	Harus dapat menahan kawat. Tidak harus menjaga batang tetap menyatu.
Ukuran jala pada jaring: cukup besar untuk tidak menjebak hewan, 0,10m. Diameter jaring: 3mm. Diameter tali: kecil, tersedia di area setempat.	Nilon 8mm.	Kurang lebih 0,10m.
	3m hingga 5m untuk membatasi kerusakan saat hilang.	Kurang lebih 4m.
		0,10m di atas tinggi rata-rata sepanjang tahun - <i>mean high water spring (MHWS)</i> . Pada tingkat ini balok jarang terendam dan daya tahannya akan menjadi lebih tinggi.
5 tahun atau lebih	5 tahun atau lebih	5 tahun atau lebih.

² Sekitar lebih dari 2/3 bagian dari tiang tertancap pada lapisan dasar yang keras agar mampu menahan kekuatan horizontal dari gelombang dan arus. Contoh, tiang dengan panjang total 4,50 m harus tertancap 3,0 m dan 1,50 mnya berada di atas lapisan dasar. Tiang yang ditancapkan kurang lebih 2 m ke dalam lapisan dasar yang keras tetap stabil dalam beberapa tahun terakhir di Demak. Tiang yang ditancapkan kurang dalam, hanyut oleh badai.

Tabel 1. Beberapa bahan alternatif untuk setiap komponen pada struktur permeabel, berdasarkan pengalaman di Demak

ASPEK	TIANG VERTIKAL	BAHAN PENGISI + LAPISAN DASAR
SPESIFIKASI		
Daya tahan – pengalaman di Demak	Tiang kayu: 1 tahun, akibat cacing kapal (<i>shipworm</i>). Bambu: 2 tahun, akibat <i>cacing kapal</i> . PVC: lebih dari 3 tahun.	Penggantian penuh dalam 2 tahun.
Komponen spesifik	Jarak dalam satu baris: 0,60 m dari bagian tengah ke bagian tenah antar tiang, lihat gambar 8. Jarak antar baris: 0,40 m, lihat gambar 8. Berat: cocok untuk pemasangan manual. ¹	Bundel: bahan pengisi diikat menjadi bundel supaya lebih kuat dan mempermudah pemasangan. Peletakan: bundel harus diletakkan dalam keadaan masih dapat digerakkan, lihat gambar 10. Kuantitas: isian yang cukup untuk konstruksi dan pemeliharaan. ²
Bahan yang dapat digunakan	Bambu (Apus dan Betung), Tiang kayu (Gelam, mangrove, dan Nibung: <i>Oncosperma tigillarum</i>), Batang kelapa PVC (diisi dengan beton dan kosong, dapat digunakan kembali), Baja (balok I atau H) Tiang alami membutuhkan perlindungan dari <i>cacing kapal</i> , seperti membungkus dengan plastik, karpet, atau terpal.	Bahan pengisi: Anyaman bambu berukuran 2x3 m, Cabang pohon dan ranting kering (selalu tersedia, Pohon nipah. Lapisan dasar: Jerami, daun kelapa atau daun pisang.
Informasi tambahan		Kebun sumber ranting kering setempat dapat menyediakan bahan dari waktu ke waktu dan menjadi sumber tambahan bagi pendapatan setempat.

¹ Berat bahan harus diperhitungkan. Untuk batang PVC dengan diameter 4" (sekitar 0,10 m) dan Panjang 4,00 m dengan berat sekitar 100kg. Batang dengan diameter 6" (sekitar 0,15 m) dan panjang 4,00 m memiliki massa hampir 200 kg.

JARING + TALI

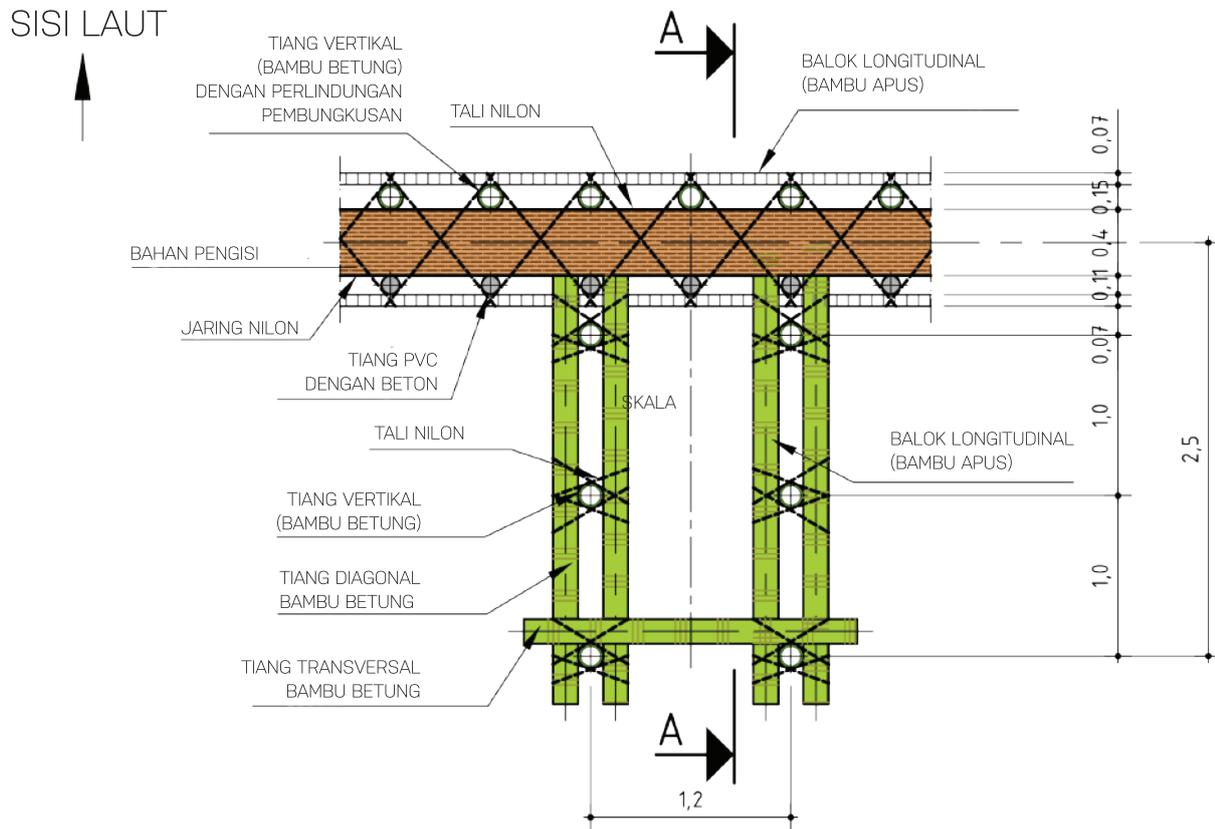
KAWAT DI ATAS

BALOK HORIZONTAL

2 tahun.	Lebih dari 3 tahun.	2 - 3 tahun.
Kantung pasir kecil (1kg) dapat digunakan supaya jaring tetap berada di bawah.		
<p>Jaring: Nilon Tidak direkomendasikan: polyethylene akan menurun akibat sinar UV, semua bahan alami yang dicoba pada proyek Java tidak terlalu tahan lama. Wadah baja (gabion) tidak dipertimbangkan, karena sangat mahal.</p>	<p>Kawat: Kawat nilon tebal yang dapat diikat simpul Kabel baja dengan lapisan plastik, walaupun sulit diikat.</p>	<p>Bambu (Apus dan Betung), kayu (Gelam dan Nibung). PVC, baja (pipa, besi beton). Bambu direkomendasikan karena alami dan murah serta lebih tahan lama daripada kayu. Balok bambu dapat diperbaiki, ketika dilakukan pengisian ulang.</p>

² Untuk menghitung kuantitas bahan pengisi yang dibutuhkan untuk konstruksi dan pemeliharaan pada tahun pertama, petunjuk berikut perlu dipertimbangkan: 1) bagian atas dari lapisan dasar yang keras harus dianggap sebagai tingkat yang paling rendah bagi bahan pengisi, karena lapisan lumpur lembek di atasnya dapat terkikis; 2) hilang dan lapuknya ranting kering adalah sekitar 20%; 3) pemadatan ranting kering adalah sekitar 10%; 4) tiang vertikal akan bergerak saling menjauh dan memerlukan bahan pengisi tambahan sekitar 10%.

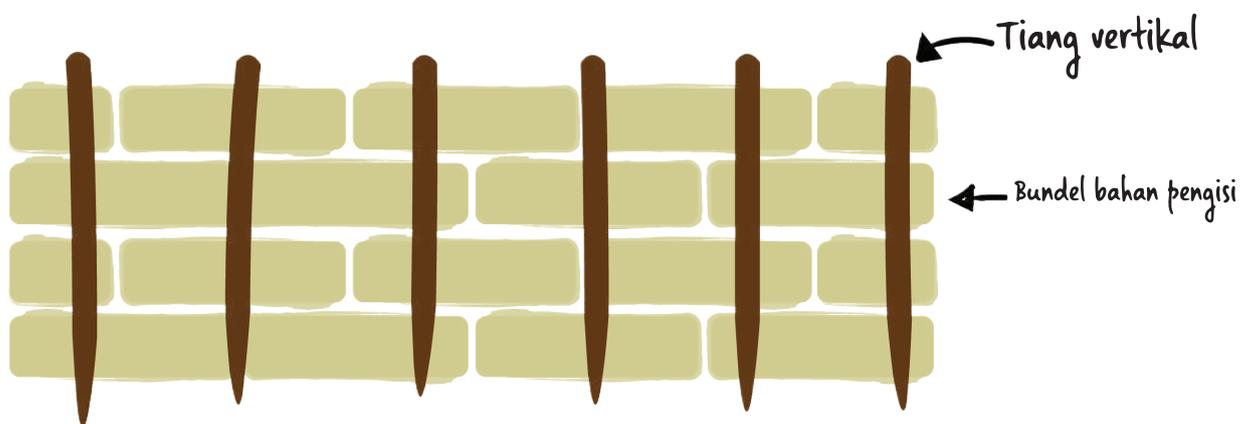
Gambar 9 menunjukkan konfigurasi dari tiang vertikal. Gambar 10 menunjukkan tampak depan dari struktur permeabel dengan peletakan bundel yang masih longgar.



TAMPAK ATAS DENGAN STRUKTUR PENDUKUNG

SKALA 1:40

Gambar 9. Konfigurasi tiang vertikal © Witteveen+Bos



Gambar 10. Tampak depan konfigurasi bundel bahan pengisi yang longgar © Witteveen+Bos

DESAIN ALTERNATIF

Terdapat berbagai desain yang dapat digunakan untuk struktur individu. Contoh pertama, pada gambar 11, adalah potongan berbentuk huruf T pada setiap struktur yang sejajar dengan pantai dan juga di sepanjang bukaan. Merupakan struktur tegak lurus dengan ukuran 10 m (5 m di depan dan 5 m di belakang) yang menciptakan tambahan stabilitas dan mencegah pengikisan di sekitar bagian utama pada struktur. Efektivitas menstabilkan dari ujung bagian T dan apakah panjangnya cukup dicoba di Demak. Hasil pertama menjanjikan dan hasil selanjutnya akan dibagikan pada dokumen yang sudah diperbaharui.



Gambar 11. Sisi potongan T dari setiap struktur yang sejajar dengan pantai dan juga di sepanjang bukaan © Pro57

Tabel 2 dan gambar 12 menunjukkan desain alternatif: lebih lebar antar tiang, mendukung struktur di bagian belakang dan balok horizontal yang lebih tebal.

VARIASI	PRO	KONTRA
Jarak yang lebih lebar antara tiang vertikal	Meningkatkan efek redaman ombak	Membutuhkan bahan pengisi yang lebih banyak. Lebih mahal.
Penopang dibalik struktur pada lokasi terekspos	Dianggap memberikan stabilitas lebih	Lebih mahal. Efeknya belum terbukti.
Balok horizontal yang lebih tebal	Memberikan stabilitas lebih diantara tiang vertikal. Dianggap lebih kokoh. Lebih mudah untuk berjalan di sepanjang struktur untuk pemeliharaan.	Lebih mahal. Tidak terbukti penting.
Balok pendukung horizontal tambahan pada tingkat dasar, atau pada ketinggian air rendah.	Dianggap memberikan stabilitas lebih. Dukungan sosial oleh komunitas setempat, karena berdasarkan pengalaman ternyata lebih kuat. Dapat memberikan stabilitas pada lokasi yang lebih terekspos.	Lebih mahal. Peletakan di bawah air dangkal sulit dilakukan.

Tabel 2. Variasi tata letak dari komponen berbeda.

Gambar 12. Desain alternatif yang lebih lebar antar tiang, struktur penopang di belakang, balok horizontal yang lebih tebal. © Tom Wilms, Witteveen+Bos



Penopang di balik struktur

Jarak yang lebih lebar antar tiang

Balok horizontal yang lebih tebal



2.2.3 Bahan untuk komponen

Bagian ini membahas bahan yang memungkinkan untuk empat komponen dari struktur permeabel. Informasi yang lebih banyak tersedia pada *hardware plan*, lihat bab 5, seperti spesifikasi dan kelebihan kekurangannya.

Gambar 13. Struktur permeabel © Tom Wilms, Witteveen+Bos

TIANG VERTIKAL

Semua tiang ini harus tahan lama selama usia struktur permeabel (5 tahun atau lebih). Bahan-bahan berikut diteliti dan dijelaskan pada pedoman ini: bambu (Apus dan Betung), tiang kayu (kayu Gelam), mangrove (*Rhizophora mucronate*) dan Nibung (*Oncosperma tigillarum*), batang kelapa (*Cocos nucifera*), PVC (diisi dengan beton dan kosong) dan baja (balok I atau H).

Tiang bambu, baik Apus dan Betung, idealnya direkomendasikan karena bersifat tahan lama dengan pembungkusan untuk mencegah kerusakan oleh cacing kapal, seperti yang dialami di Demak. Pilihan terbaik kedua adalah tiang PVC dengan beton. Beton membuat batang lebih awet, tetapi juga berat, lebih mahal dan tidak alami. Tiang PVC dengan cangkang yang lebih tebal sama kakunya dengan PVC yang diisi beton. Harus diinvestigasi apakah HDPE merupakan alternatif yang lebih baik. Izin (lingkungan) dapat memerlukan bahwa mereka perlu dicabut ketika proyek berakhir.

Pada lokasi tropis lain, Nibung, batang kelapa, dan kayu Walaba memberikan hasil yang baik dengan ketahanan selama 10 tahun. Kasus terakhir digunakan di Suriname. Pada lokasi beriklim sedang, daya tahan bahan bukan masalah besar. Di lepas pantai di Belanda, ranting kering dengan daya tahan yang baik didapatkan dengan kayu willow (*Salix spp.*) dan cabang pohon juniper (*Juniperus communis*).

Alasan bahan lain digunakan adalah:

- Tiang kayu (Gelam) dihinggapi oleh teredo (cacing kapal) dan moluska.
- Tiang kayu (mangrove) diserang oleh cacing teredo di lokasi. Selain itu, keberlanjutan penggunaan mangrove menjadi terbatas.
- Balok baja sangat mahal dan berat.
- Tiang kayu dapat dilindungi oleh semi-pirolisis. Dampaknya bagi lingkungan tidak diuji. Penggunaannya dilarang di beberapa negara di dunia. Prosesnya akan mengeluarkan senyawa protektif dan menyingkirkan spesimen yang disukai oleh agen pengurai alami.

Ketahanan tiang bambu dan kayu sering kurang dari yang dibutuhkan yaitu 5 tahun dikarenakan cacing kapal dan ancaman setempat lainnya sehingga persyaratan pemeliharaan menjadi tinggi. Ketahanan dapat bertambah dengan menutupinya dengan karpet atau bahan lainnya, melindunginya dari cacing kapal (tritip). Pembungkusan ini harus resisten terhadap tusukan dan robekan akibat ranting kering dan saat ini sedang diuji. Hasilnya akan digabungkan pada pedoman ini saat tersedia.

BALOK HORIZONTAL

Bahan berikut dapat dipertimbangkan untuk balok horizontal: bambu (Apus dan Betung), kayu (Gelam dan Nibung), baja PVC, (pipa, besi beton). Bambu direkomendasikan karena dia alami, murah, dan lebih awet dibanding kayu. Balok bambu dapat diperbaiki ketika dilakukan pergantian bahan pengisi. Lebih bersifat padat karya, tetapi masih relatif murah.

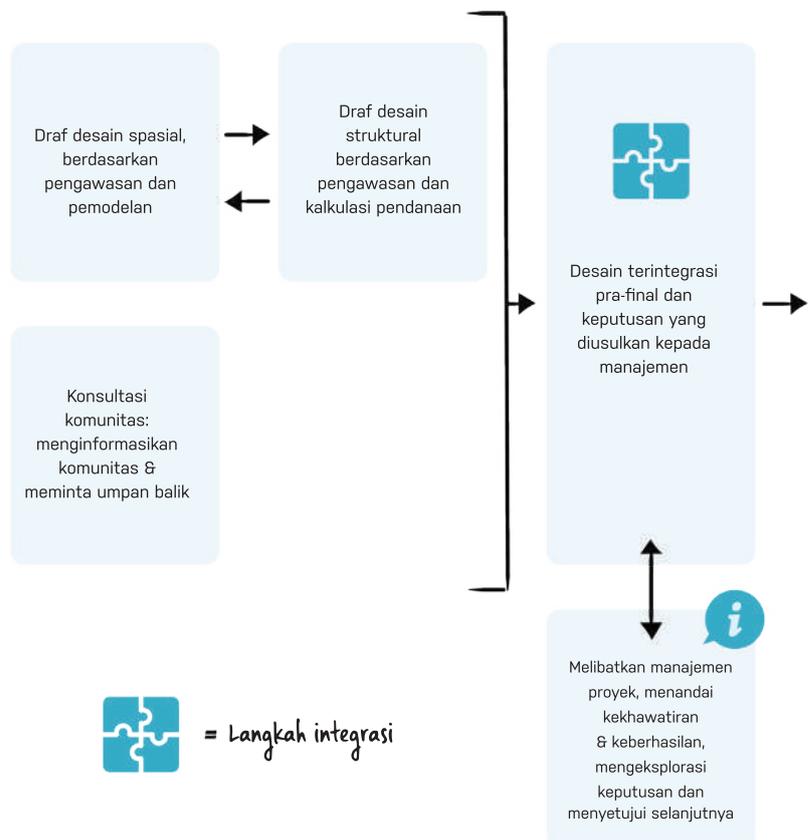
BAHAN PENGISI

Bahan pengisi terdiri dari lapisan dasar dedaunan dengan ranting kering di atasnya. Lapisan dasar harus menggunakan daun palem. Untuk ranting kering, pilihannya adalah: anyaman bambu berukuran 2x3 m, cabang pepohonan, ranting mangrove, ranting pohon bambu, daun kelapa, dan palem nipah. Di Demak, semak dan pepohonan digunakan untuk ranting kering. Bahan ini dapat menghadapi tantangan untuk tetap berada di tempat ketika membusuk, menjadi padat, dan merusak tiang vertikal karena dia mengapung dan memberikan beban horizontal tinggi dengan gelombang tinggi. Memerlukan pemeliharaan teratur. Diperlukan perbaikan pada bahan pengisi. Solusinya dapat berupa bahan yang tidak mengapung, piring permeabel, bahan seperti spons yang berongga, balok horizontal atau barisan tiang vertikal yang padat.

KAWAT DAN JARING

Untuk kawat, tali nilon direkomendasikan untuk mengikat simpul. Kabel baja dengan lapisan sulit untuk diikat dan langsung meninggalkan bekas setelah instalasi. Kawat yang digunakan untuk mengikat bundel kecil dapat berkualitas rendah dengan daya tahan selama 2-3 tahun. Jaring yang digunakan juga boleh jaring berkualitas rendah karena tidak harus menahan beban. Jaring yang terbuat dari nilon akan cukup baik. Polyethylene akan menurun akibat sinar UV. Bahan alami tidak digunakan karena daya tahannya yang rendah. Wadah baja (gabion) tidak diperhitungkan.

Gambar 14. Proses dari desain menuju konstruksi untuk struktur permeabel

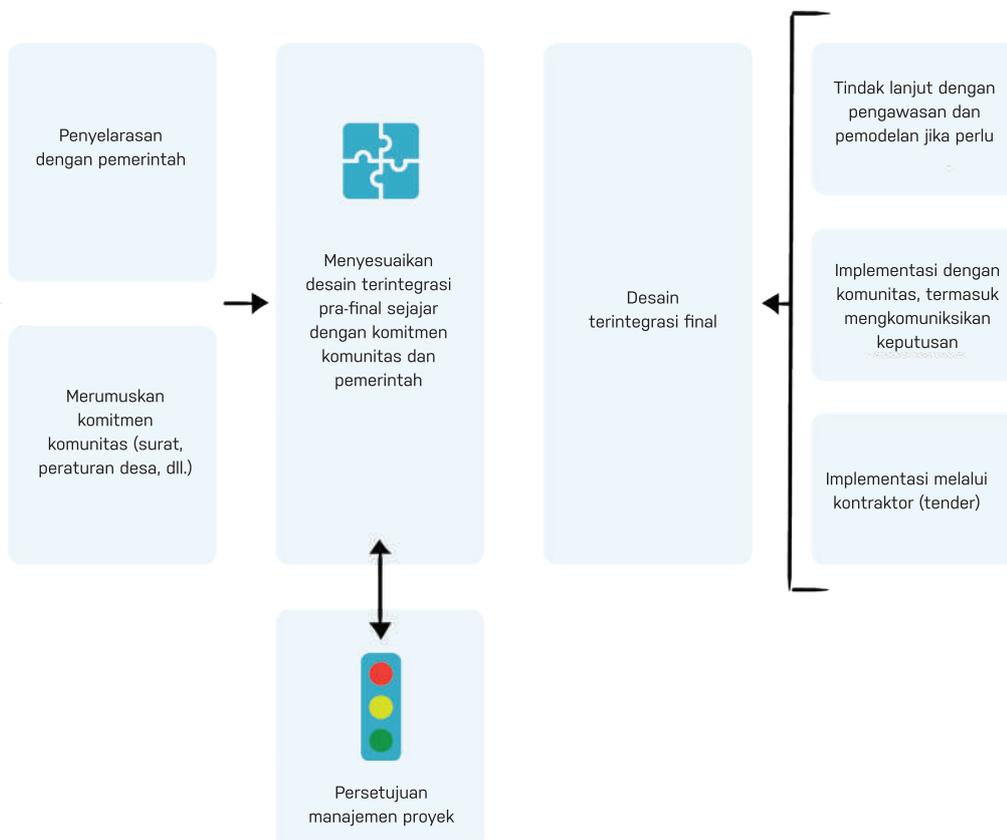


KEBERLANJUTAN

Selama proses struktur permeabel dan pemilihan bahan, penting untuk memperhitungkan dampak dari bahan yang digunakan terhadap lingkungan. Contoh, dampak dari bahan terhadap terbentuknya habitat baru, substrat yang keras bagi tiram dan moluska. Atau, dampaknya terhadap biodiversitas, seperti ukuran jala pada jaring untuk mencegah ikan tertangkap. Dampak dari degradasi dan kerusakan juga harus diperhitungkan, seperti degradasi tiang PVC atau pembungkus pelindung pada tiang bambu. Daya tahan dari bahan juga merupakan hal yang penting karena mempengaruhi persediaan dan pemeliharaan serta adanya kemungkinan untuk digunakan kembali. Sumber berkelanjutan akan dibahas sebagai bagian dari proses tender pada bagian 3.5.

2.3 PROSES DESAIN

Desain solusi pada Lokasi spesifik meliputi desain spasial, desain struktur permeabel dan aspek sosial proyek akan diimplementasikan pada sebuah komunitas. Seperti dijelaskan pada pedoman yang berbeda, pada seri pendekatan Building with Nature (Membangun bersama Alam), proyek membutuhkan masukan dari berbagai sistem, biofisik, sosial ekonomi dan institusional. Pada awal desain proses, masukan dari sistem harus dikumpulkan dan didiskusikan dengan tim. Setelah diskusi, aspek sosial, structural, dan spasial harus diajukan. Versi kedua membutuhkan fase desain final. Gambar 14 menunjukkan diagram alur untuk proses desain menjadi konstruksi.



3 KONSTRUKSI

Bab ini membahas mengenai fase konstruksi dari struktur permeabel. Terdiri dari jadwal dimana semua aktivitas konstruksi diproyeksikan, dijadwalkan, dan dioptimalisasi. Langkah besar pada fase konstruksi dibahas, termasuk kunjungan ke lokasi, proses tender, pelatihan pekerja dan pengerjaan konstruksi yang sebenarnya

3.1 JADWAL Pengerjaan

Diperlukan jadwal kerja untuk dapat menjalankan pengerjaan konstruksi. Contohnya dimuat dan dijelaskan pada tabel 3. Jadwal harus terdiri dari semua aktivitas terkait, sekaligus keterbatasannya, seperti musim hujan, dengan badai dengan ombak tinggi yang menyebabkan berhentinya aktivitas. Juga harus menyertakan hari libur bersama seperti Natal, Ramadhan, dan Idul Fitri. Contoh, di Jawa Tengah, Indonesia, konstruksi harus diselesaikan sebelum mulainya musim hujan, jadi sekitar bulan September atau Oktober.

AKTIVITAS	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
1 Rencana spasial	■	■										
2 Keterlibatan para pihak	■	■	■	■	■							
3 Izin (lingkungan) di Indonesia AMDAL, UKL-UPL												
4 Kunjungan ke lokasi dan persiapan			■									
5 Tender konstruksi (supervisi)				■	■							
6 Pelatihan untuk konstruksi					■	■						
7 Konstruksi (dan supervisi)						■	■	■	■	■		
8 Pengawasan dan pemeliharaan							■	■	■	■	■	■
Musim kemarau	■	■	■								■	■
Musim hujan				■	■	■	■	■	■	■		
Libur nasional (Ramadhan, Idul Fitri, Natal)												■

Tabel 3. Contoh jadwal aktivitas selama satu tahun

1. Membuat perencanaan spasial berdasarkan pemahaman sistem, data (historis) yang tersedia, pengawasan. Dijelaskan pada bab sebelumnya (selesai pada bulan Februari).
2. Keterlibatan para pihak (Januari – Mei).
3. Izin, menerapkan dan mematuhi, dapat kontinu.
4. Mengunjungi lokasi, membahas rencana spasial dengan komunitas, bertanya mengenai perkembangan dan tantangan pada lokasi yang dituju, survei lokasi untuk menentukan kedalaman dan tantangan, penempatan penanda akhir (Maret).
5. Tender untuk konstruksi: siapkan dokumen-dokumen, gambar-gambar, dan alokasikan anggaran (Juni-Juli). Supervisi tender: mempersiapkan dokumen dan alokasi dana. Bila memungkinkan, libatkan supervisor pada proses tender. Kegiatan ini diakhiri dengan penyerahan kontrak (April dan Mei).
6. Pelatihan untuk konstruksi (Mei dan Juni).
7. Konstruksi dan supervisi (Juni – September).
8. Pengawasan dan pemeliharaan sudah dimulai selama pengerjaan konstruksi dan selanjutnya (mulai Juli).

Musim hujan di Indonesia (November-Maret)

Musim kemarau di Indonesia (April-Oktober)

Libur nasional

3.2 KETERLIBATAN PARA PIHAK

Keterlibatan para pihak merupakan aspek penting, yang menyertakan keterlibatan komunitas dan peningkatan kesadaran, lihat gambar 15. Pertama-tama, komunitas setempat perlu diinformasikan mengenai proyek, perencanaan, dan juga mendapatkan pendapat mereka dan keterlibatannya. Keterlibatan sejak awal berarti mereka dapat mendukung proyek dan berkolaborasi dalam hal desain, implementasi, pengawasan, pemeliharaan, dan replikasi. Komunitas harus mengerti dan mendukung pemulihan dan perlindungan kawasan mangrove, untuk menghindari degradasi dan deforestasi di tahap selanjutnya. Keterlibatan komunitas idealnya harus didokumentasikan dalam bentuk surat dukungan, kontrak dan/atau peraturan desa. Keterlibatan pemangku kepentingan dijelaskan dalam pedoman teknis lain pada seri ini.

Topik lainnya adalah mengalihkan kepemilikan lahan jika diperlukan. Kepemilikan tanah dapat menjadi potensi resiko, mengancam keberhasilan rekolonisasi mangrove. Oleh karena itu, lahan lebih disukai yang dimiliki oleh pemerintah dan perlindungan area mangrove yang dipulihkan harus dijamin. Lembaga pemerintahan yang terkena dampak harus terlibat sebanyak mungkin. Keterlibatan ini harus sudah mulai sejak perencanaan spasial dilakukan.



Gambar 15. Kunjungan ke desa untuk membahas desain yang diusulkan
© Witteveen+Bos dan Wetlands International Indonesia

3.3 PERIZINAN

Untuk membangun struktur permeabel, undang-undang dan peraturan harus dipatuhi. Diperlukan izin, contohnya, penilaian dampak lingkungan. Izin yang diperlukan bervariasi di setiap negara dan juga tergantung kepada ukuran sebuah proyek. Di Indonesia, sebuah Penilaian Dampak Lingkungan membutuhkan perencanaan pengelolaan atau pengawasan. Konsultan bersertifikat harus mengajukan izin. Setelah izin diperoleh, pengawasan dan pengelolaan diperlukan sebelum, selama dan sesudah pengerjaan konstruksi dan laporan harus diserahkan. Sering terjadi tumpang tindih antara persyaratan dan apa yang harus diawasi oleh sebuah proyek.

3.4 KUNJUNGAN LOKASI DAN PERSIAPAN

KUNJUNGAN LOKASI

Setelah desain spasial umum dikembangkan, berdasarkan peta dan pandangan udara, lokasi dikunjungi untuk menjelaskan situasi dan membahas desain dengan komunitas setempat. Pengetahuan mereka akan wilayah setempat dapat memberikan saran yang berguna mengenai lokasi seperti mengenai pematang lama, atau menghindari hambatan seperti pondasi perumahan atau lapisan kerang yang sangat tebal. Pada pertemuan ini keterlibatan komunitas dapat dibicarakan. Setelah masukan-masukan dihimpun, lokasi target dikunjungi untuk mengukur lapisan atas tanah yang keras setiap 20 m hingga 25 m yang paling mendekati tolok ukur (HWS). Untuk menentukan ketinggiannya, sebuah tongkat (2cm^2) harus ditancapkan ke tanah hingga tidak dapat didorong lebih dalam lagi (gunakan kekuatan penuh), lihat gambar 16. Dengan informasi ini, panjang tiang vertikal yang diperlukan dapat ditentukan. Ujung dari struktur harus ditandai dengan tiang dengan panjang sekitar 3 m dan diameter sekitar 0,10 m untuk mengindikasikan dimensi dari konstruksi.

TOLOK UKUR – KETINGGIAN PASANG SURUT

Salah satu dari kegiatan awal adalah instalasi benchmark, sebuah ketinggian referensi vertikal, pada setiap lokasi konstruksi yang diperlukan untuk mengukur ketinggian relatif terhadap pasang surut. Tolok ukur ini dapat berupa tiang atau struktur keras seperti jembatan atau dinding batu. Penanda harus ditempatkan pada *Mean Low Water Spring-* (MLWS) dan *Mean High Water Spring* (MHWS).



Gambar 16. Pengukuran ketinggian lapisan tanah yang keras © Bagus Maulana



Gambar 17. Elemen alami untuk menandai tolok ukur © Tom Wilms, Witteveen+Bos

Hewan dan vegetasi dapat mengindikasikan ketinggian tersebut, yang ditunjukkan pada gambar 16, warna hijau dari algae menunjukkan ketinggian pasang surut dan tritip menunjukkan permukaan laut rata-rata (MSL) mengingat mereka tumbuh hingga batas tersebut. MHWS direkomendasikan sebagai 0 untuk ketinggian referensi, karena muncul hampir setiap waktu.

3.5 TENDER UNTUK KONSTRUKSI

Aktivitas tender memutuskan pengerjaan konstruksi struktur kepada kontraktor dan pengerjaan supervisi bagi supervisor. Dokumen tender harus disiapkan berdasarkan desain spasial, kunjungan lokasi dan persyaratan hukum. Dokumen terdiri dari persyaratan yang harus dipenuhi oleh kontraktor dengan berbagai aspek seperti teknis, hukum, waktu, finansial dan kualitas. Sebagai bagian dari aspek teknis, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan Owner Estimate-OE harus dipersiapkan berdasarkan biaya siklus hidup. Selain investasi awal, biaya untuk pemeliharaan, pemindahan, atau penggunaan kembali, harus dipertimbangkan. Pada saat ini, biaya investasi rata-rata adalah dibawah 100 Euro per meter struktur permeabel (sekitar 1,5 juta rupiah/m). Biaya pemeliharaan tahunan adalah sekitar 50 Euro/m (750,000 rupiah/m), dimana sebagian besar biaya digunakan untuk penggantian bahan pengisi. Perkiraan biaya harus dibuat per bagian dan harus dimasukkan ke dalam perkiraan biaya keseluruhan proyek. Perkiraan untuk konstruksi awal dan tahun pertama konstruksi adalah:

- Pembelian bahan dan transport (untuk konstruksi awal dan perawatan tahun pertama).
- Biaya konstruksi
- Biaya pemeliharaan
- Keuntungan bagi kontraktor (sekitar 10% dari biaya total).
- Pajak (sekitar 10% dari biaya total).
- Biaya darurat (sekitar 20%, bersifat relatif).
- Biaya tak terduga (sekitar 10% dari biaya total).

Biaya untuk pemeliharaan pada tahun sesudahnya harus berdasarkan pemantauan degradasi bahan. Sebagai perkiraan, biaya pemeliharaan tahunan dari struktur permeabel dimuat pada pedoman ini adalah 50% dari biaya konstruksi awal.

Aspek kualitas dari dokumen tender terdiri dari beragam aspek seperti jaminan sosial dan keberlanjutan seperti sumber bahan yang berkelanjutan. Topik relevan untuk sumber berkelanjutan adalah:

- Lokasi dari pembelian bahan yang mempengaruhi jarak transportasi dan jejak karbon. Solusinya adalah menumbuhkan bahan untuk struktur permeabel di area proyek.
- Efek negatif terhadap lingkungan yang disebabkan oleh produksi bahan.
- Ketersediaan bahan dengan jumlah yang cukup dan pengaruh potensial terhadap pasar. Contoh, bahan pengisi seperti kayu bakar, atau bambu sebagai bahan konstruksi.
- Penerapan pengukuran teknologi sederhana lainnya untuk meningkatkan daya tahan struktur, seperti pembungkusan bambu.

Dokumen yang sudah siap diberikan kepada kontraktor. Kontraktor dapat dihubungi langsung, diinformasikan melalui iklan, atau dengan mengadakan tender umum. Kontraktor dapat diundang untuk pertemuan pra-tender untuk menjelaskan proyek, dokumen tender didistribusikan dan dapat mengajukan pertanyaan. Ini adalah saat yang tepat untuk berkunjung ke lokasi. Setelah pertemuan ini kontraktor menyiapkan penawaran. Setelah penyerahan, dokumen kemudian dikaji ulang oleh klien dan pertemuan klarifikasi dibuat sehingga kontraktor dapat mengklarifikasi penawarannya. Dengan semua informasi yang tersedia, klien memilih pemenang dan proyek diberikan kepada kontraktor. Proses serupa dapat dilakukan untuk seleksi supervisor.

3.6 PELATIHAN UNTUK KONSTRUKSI DAN PEMELIHARAAN

Tujuan dari pelatihan adalah untuk menambah pengetahuan dan keterampilan para anggota komunitas yang akan berpartisipasi pada proses konstruksi. Pesertanya adalah kontraktor, supervisor, dan pekerja. Pelatihan dijadwalkan sekitar awal pengerjaan konstruksi.

Direkomendasikan untuk menggunakan pendekatan training of trainers (ToT) yang berarti pelatihan dilakukan dalam kelompok kecil, contohnya perwakilan dari setiap kelompok pekerja dari setiap desa. Mereka dilatih sampai mereka dapat melatih rekannya di kelompok pekerja dan juga orang lain. Dengan pendekatan ini usaha dari pelatihan awal bersifat terbatas dan efektif. Pendekatan ini digunakan di Sekolah Lapangan Pesisir untuk revitalisasi akuakultur, yang merupakan bagian lain dari proyek Building with Nature di Demak.

Pelatihan harus terdiri dari setidaknya pengantar umum tentang proyek, pendekatan Building with Nature, proses konstruksi, pemeliharaan dan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), lihat tabel 4. Pelatihan konstruksi harus berfokus kepada langkah-langkah konstruksi yang akan dikemukakan pada dokumen ini. Perhatian harus ditujukan kepada kualitas bahan, metode konstruksi yang benar, hubungan antar komponen berbeda dan pemeliharaan selama periode konstruksi. Pelatihan untuk pemeliharaan berfokus kepada frekuensi pengawasan, fitur yang harus diawasi, penindaklanjutan Ketika diperlukan pemeliharaan dan perbaikan dan metode untuk memelihara dan memperbaiki struktur. Pelatihan untuk para pekerja harus dilakukan pada tingkat yang sangat praktis, sehingga mereka dapat membangun dan merawat struktur permeabel. Lihat gambar 18. Pedoman teknis dan lainnya pada seri ini dapat digunakan sebagai bahan pelatihan.



Gambar 18. Pelatihan melalui Sekolah Lapangan Pesisir (kanan), pelatihan K3 yang diikuti oleh komunitas setempat. © Deinar Santayana, Witteveen+Bos

TABEL 4: MASALAH KESEHATAN, KESELAMATAN (LINGKUNGAN) KERJA (K3) SELAMA KONSTRUKSI

- Tidak bekerja selama kondisi pekerjaan tidak aman (karena badai, ombak, dan arus).
- Menyediakan air minum yang cukup.
- Menyediakan dan mengecek perlindungan dari sinar matahari.
- Menyediakan dan mengecek peralatan proteksi perorangan, seperti pelampung dan rompi pelampung, mengenakan sepatu boot dan sarung tangan.
- Bekerja dalam tim setidaknya 3 orang atau lebih; setengah dari tim dapat berenang (selalu lebih dari 2 orang)
- Menyediakan dan mengecek prosedur kerja yang aman, peralatan dan bahan; contohnya dengan menggunakan balok horizontal yang tebal dan tali yang kuat atau rantai ketika memasang tiang vertikal.
- Menyediakan kotak P3K.
- Transportasi untuk menuju lokasi tersedia ketika terjadi kondisi tidak aman.
- Menjaga komunikasi dan kepemimpinan dalam kelompok.

3.7 Pengerjaan Konstruksi

Struktur permeabel merupakan konstruksi dengan teknologi sederhana yang dapat dibangun oleh komunitas setempat dengan mesin maupun peralatan sederhana. Pada banyak lokasi struktur permeabel, sulit untuk membawa peralatan mekanik ke lokasi konstruksi. Mesin pun dapat lebih mudah merusak bahan, jadi penggunaan mesin tidak terlalu penting. Di Demak, kelompok yang terdiri dari 6-8 pekerja dapat membangun struktur permeabel berukuran 4 m dalam kurun waktu 8 jam. Checklist untuk pengerjaan konstruksi terdapat pada halaman 35.

Tenaga kerja dan kontraktor

Ketersediaan tenaga kerja tergantung pada jumlah masyarakat di wilayah tersebut. Direkomendasikan untuk menyelaraskan proyek anda dengan tender lain atau setidaknya mendiskusikan dengan proyek tersebut mengenai bahan dan upah supaya beban kerja tetap dapat dikelola dan upah tetap wajar.

Tentukan jika konstruksi dapat dilakukan tanpa kontraktor. Hal ini membutuhkan penyeselarasan dengan komunitas setempat. Topik yang diajarkan adalah mengenai dana yang cukup, uang kas, kontrak dengan pemasok dan manajemen konstruksi, termasuk transportasi dan logistik.



Gambar 19. Persediaan bahan dan quality control bahan © Deinar Santayana, Witteveen+Bos

Administrasi dan manajemen kualitas

Penting untuk memiliki administrasi yang rapi untuk mengkoordinasikan pekerjaan dan melakukan langkah yang diperlukan oleh konstruksi dan manajemen kualitas, lihat gambar 19. Jika lebih dari satu kelompok bekerja pada satu bagian, kepentingan koordinasi menjadi meningkat. Untuk pekerja, prosedur yang dibutuhkan harus jelas, begitu juga dengan konsekuensinya kalau tidak dilakukan. Transfer tanggung jawab bagi pekerja membantu meningkatkan keterlibatan mereka.

Persediaan bahan dan transportasi

Bahan pengisi akan menurun selama konstruksi. Penurunan ini disebabkan oleh erosi dari lumpur lembek dan pematatan. Supaya bagian atas bahan pengisi tetap berada pada tingkat yang dibutuhkan, bahan harus tersedia di lokasi. Bahan-bahan dibutuhkan untuk menambah bahan begitu diperlukan. Persediaan juga dibutuhkan untuk pemeliharaan dan perbaikan ketika terdapat kerusakan selama pengawasan. Pada awal proyek, suatu area harus dialokasikan untuk menyimpan persediaan. Pada tender konstruksi, kuantitas dari persediaan juga perlu disertakan.

Transportasi menuju lokasi proyek dilakukan dengan truk kecil atau kendaraan tiga roda karena jalanan yang kecil. Bahan dibawa ke lokasi konstruksi dengan peralatan terapung, lihat gambar 20.



Gambar 20. Transportasi terapung dan persediaan bahan © Bagus Maulana

Konstruksi struktur permeabel

Tiang vertikal ditancapkan dengan melompat pada balok horizontal yang menempel pada tiang oleh sebuah sabuk, tali, atau rantai, lihat halaman 21. Tekanan/lompatan pertama dapat dilakukan oleh kelompok yang terdiri dari 6 orang. Supaya tiang berada pada kedalaman yang cukup, pada beberapa momen dibutuhkan 12 orang. Akar pohon kelapa sulit ditembus, tetapi dengan jumlah orang yang cukup tidak akan menjadi masalah. Alat bor dapat digunakan untuk membuat lubang untuk setiap tiang vertikal bila perlu. Selama konstruksi, terkadang kita menemukan lapisan yang sangat keras walaupun semua tindakan pencegahan telah dilakukan. Pada kasus tersebut, pekerja harus menemukan solusi terbaik. Lakukan diskusi dengan para ahli dan solusi dapat diimplementasikan. Pilihannya adalah: i) membuat bagian berbentuk T dan membuat sebuah bukaan atau ii) meletakkan bagian dari struktur permeabel lebih ke arah laut atau daratan. Setelah balok horizontal diikatkan ke tiang vertikal dan jaring serta bahan pengisi dipasang dipadatkan, tali diikatkan di atas bahan pengisi supaya tetap berada di tempat, lihat juga checklist pada halaman 35.

Jembatan di atas bukaan antara 2 struktur bersifat praktis. Jembatan dapat terdiri dari 3 atau 4 tiang bambu yang lebar dan untuk alasan keamanan direkomendasikan untuk membuat pegangan.



Gambar 21. Peletakan tiang vertikal dan komponen lainnya © Deinar Santayana, Witteveen+Bos



Gambar 22. Instalasi manual sebuah tiang © Deinar Santayana, Witteveen+Bos



CHECKLIST UNTUK LANGKAH PROSES KONSTRUKSI

1 PERSIAPAN

- Bahan dibawa untuk disimpan pada lokasi proyek
- Bahan dicek ulang oleh kontraktor dan supervisor dalam hal panjang, diameter, kerusakan, dan lain-lain.
- Bahan dibawa ke lokasi konstruksi
- Batasan dan poros struktur ditentukan dan dicek sebelum mulai
- Bowplank dicek ulang oleh kontraktor dan supervisor (bowplank merupakan sebuah alat untuk menjaga jarak antar tiang vertikal yang diperbaiki pada jarak yang panjang)

2 INSTALASI TIANG VERTIKAL

- Ujung bagian bawah dipertajam
- Setiap batang ditandai pada jarak yang telah ditentukan sebelumnya dari ujung bagian bawah
- Tiang ditekan ke dalam
- Pengecekan rutin poros struktur
- Kedalaman sebenarnya dan yang dibutuhkan dari kedalaman penanaman dicek secara rutin
- Cek jika tiang dapat ditekan lebih dalam lagi keesokan harinya
- Kerusakan pada tiang karena instalasi harus dapat diminimalisir
- Cek bahwa bambu tidak dipotong terlalu tinggi di atas ruas supaya air tidak mengendap disana
- Penempatan pembungkus pelindung

3 INSTALASI TIANG HORIZONTAL

- Balok horizontal diikatkan pada tiang vertikal

4 PEMASANGAN JARING

- Jaring dipasangkan dan dihubungkan ke balok horizontal
- Kantung pasir opsional digunakan

5 PELETAKAN BAHAN PENGISI

- Setelah stabilisasi tiang vertikal (1-2 hari kemudian)
- Daun palem diletakkan dan dipadatkan sebagai lapisan paling bawah (tebal 0,3 m)
- Bahan pengisi diletakkan dan dipadatkan (dengan melompat)
- Bagian atas bahan pengisi harus setidaknya 0,3 m diatas MHS. Dicek secara rutin
- Bahan pengisi ditambahkan begitu bagian atas berada di bawah balok horizontal

6 PEMASANGAN KAWAT

- Setelah bahan pengisi berada pada ketinggian yang diperlukan, jaring ditutup dan diikat
- Kawat dipasang dan dikencangkan dengan peregangan kecil
- Pengetatan dilakukan Ketika ketinggian air rendah
- Panjang kawat maksimum adalah 5 m

4 OPERASIONAL

Bab ini membahas fase operasional dari struktur permeabel yang berfokus kepada pengawasan dan pemeliharaan.

4.1 PENGAWASAN

Pada tahun pertama untuk proyek baru di lokasi baru, tidak semua informasi yang dibutuhkan sudah tersedia dan setiap tahun akan didapatkan lebih banyak informasi mengenai sistem yang berfungsi untuk mengoptimalkan desain spasial sesuai aturan jarak antar struktur, panjang struktur, lebar bukaan antar struktur, tingkat akresi dari area terlindungi serta waktu dan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk konstruksi struktur. Pengawasan sistemik mendukung optimalisasi desain dan konstruksi.

4.1.1 Pengawasan pada tingkat lanskap

Pada tingkat lanskap proyek harus diawasi untuk menguji apakah struktur permeabel berjalan baik sesuai dengan tujuan dan persyaratan fungsional yang dijelaskan pada Bab 2. Pengawasan efektivitas dari struktur permeabel berfokus kepada akresi sedimen dibalik struktur dan pada rekolonisasi mangrove alami. Jika layak, kepadatan lumpur harus diukur dan dianalisa dari waktu ke waktu karena menggambarkan derajat konsolidasi. Rekolonisasi mangrove alami terjadi ketika sedimen telah bertambah dan ketika bibit mangrove tersedia. Keberadaan, kelangsungan hidup, dan perkembangan mangrove juga dipantau. Gambar 23 menunjukkan distribusi spasial tiang pengawasan sedimen dan tampak dekat sebuah tiang.



Gambar 23. Pemantauan sedimentasi dengan tiang sedimentasi © Tom Wilms, Witteveen+Bos

4.1.2 Pemantauan struktur permeabel

Pengawasan proyek terhadap struktur individu akan dilakukan menilai daya tahan struktur permeabel dan mengimplementasikan informasi yang didapat serta perencanaan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi konstruksi. Daya tahan bahan yang digunakan dan waduk permeabel yang dibangun bervariasi dari situasi ke situasi. Struktur dapat bersifat rentan untuk mengurangi kerusakan tergantung kepada jenis bahan yang tersedia di lokasi setempat, kondisi lingkungan setempat, dan lokasi geografis terkait cuaca ekstrim. Pemantauan struktur permeabel dibutuhkan pada beberapa tahap dan mencakup aspek berbeda. Tahap berbeda sebuah pemantauan dan frekuensinya adalah sebagai berikut:

- Pemantauan mingguan selama pengerjaan konstruksi dan pada dua bulan pertama setelah konstruksi.
- Setelah setiap badai pada musim hujan (di Indonesia berlangsung pada bulan November – Maret).
- Pada akhir musim badai.
- Pada bulan September, untuk memastikan bahwa struktur berada pada bentuk yang baik sebelum musim badai mulai.

Struktur harus diawasi untuk kerusakan dan keketatan. Harus dilakukan pengujian pada gelombang rendah dan meliputi aktivitas berikut:

- Tiang harus diawasi secara visual pada lubang dan cacing kapal (tritic, trocok) dan diuji secara fisik. Setiap 10 meter, satu tiang harus ditarik atau dimasukkan pada rata-rata ketinggian air dengan palu berdiameter besar untuk mengecek kekuatannya. Jika banyak tiang yang rusak, jumlah tiang yang diuji harus ditambah untuk menguji persentase kerusakan.
- Balok horizontal harus ditarik, untuk mengecek apakah mereka cukup kuat dan diperbaiki dengan benar.
- Pemasangan jaring harus utuh; pengecekan ini bersifat visual.
- Kawat harus ketat; lakukan uji visual dan fisik. Uji fisik dilakukan dengan menarik kawat.

Lampiran II memberikan flow chart mengenai pemantauan elemen pada struktur permeabel. Jika terlihat kerusakan, komponen relevan harus diganti dengan segera. Semua pemantauan harus didokumentasikan dan dilaporkan dengan foto dan catatan.

Informasi lain mengenai pemantauan teknis struktur permeabel, pengawasan pemeliharaan dan pengawasan sedimen dapat ditemukan pada protokol pengawasan yang tersedia melalui narahubung.

4.1.3 Daya Tahan

Daya tahan struktur permeabel dapat menjadi masalah seperti yang dialami di lokasi proyek Jawa. Harapannya adalah tiang dapat bertahan hingga 5 tahun, tetapi kenyataannya Gelam (*Melaleuca cajuput*) hanya bertahan selama satu tahun, sedangkan bambu (*Bambusa spp.*) hanya bertahan selama dua tahun (Tabel 1). Hasil yang lebih baik dengan spesies yang sama terjadi di lokasi lain (contoh di estuaria Vietnam dengan salinitas yang jauh lebih rendah sehingga mengundang cacing kapal berada). Daya tahan bahan yang digunakan dan bendungan permeabel yang dibangun bervariasi, tergantung kepada jenis bahan yang tersedia di lokasi tersebut, kondisi lingkungan setempat, dan juga lokasi geografis dalam kaitannya dengan resiko cuaca ekstrim, struktur ini rentan terhadap kerusakan yang melemahkan. Kegunaannya juga akan tergantung kepada berbagai faktor setempat yang harus diperhitungkan ketika menentukan dimana dan bagaimana menggunakan struktur permeabel untuk restorasi pesisir. Secara ekstrim adalah lokasi seperti Suriname dan Belanda. Suriname tidak dipengaruhi oleh cuaca ekstrim tetapi juga sudah tersedia, kayu asli Suriname dengan kualitas tinggi (*Eperua spp.*) yang tahan terhadap cacing kapal. Di Belanda, waduk permeabel juga dapat bertahan selama bertahun-tahun berdasarkan konstruksi yang menggunakan bahan alami setempat dengan keberadaan cacing kapal yang rendah.



© Cynthia Boll

4.2 PEMELIHARAAN DAN PERBAIKAN

Struktur permeabel membutuhkan pemeliharaan terus menerus. Tanpa pemeliharaan, bahan pengisi menurun dan berkurang serta redaman ombak pun mengecil, kemudian struktur sudah tidak berfungsi lagi. Pemeliharaan struktur harus mengikuti pengawasan yang dimuat pada bagian 4.1 dan harus dijalankan secara langsung setelah pengawasan menunjukkan bahwa dia diperlukan. Jika kondisi badai terjadi lebih sering, pengawasan dan frekuensi pemeliharaan harus ditingkatkan. Hal ini juga mengisyaratkan bahwa pada awal proyek harus dibuat analisa biaya siklus hidup dan dialokasikan pendanaan seumur hidup.

Pemeliharaan dan perbaikan berdasarkan kepada pengawasan yang dibuat pada bagian 4.1. setiap komponen dari struktur didiskusikan di bawah ini:

- Tiang vertikal:
 - › Tiang vertikal baru sulit untuk dipasang pada baris yang ada.
 - › Ketika tiang dalam jumlah kecil tidak cukup kuat, area tersebut harus diperkuat dengan balok horizontal tambahan.
 - › Ketika lebih dari 40% tiang tidak stabil pada satu sisi struktur, harus dibangun baris baru pada sisi lain dari struktur yang masih stabil. Bahan pengisi harus ditempatkan diantara baris baru dan baris lama yang stabil.
 - › Ketika lebih dari 40% tiang tidak stabil pada kedua sisi struktur, harus dibangun struktur baru 1 atau 2 meter mengarah ke laut dari struktur yang ada.
- Balok horizontal. Setiap balok yang tidak kuat harus digantikan oleh balok yang memenuhi syarat.
 - › Pemasangan jaring. Kerusakan jaring sulit diperbaiki karena terjebak diantara bahan pengisi dan tiang. Pemeliharaan hanya dapat dilakukan dengan mengikatkan kawat pada area paling atas dari bahan pengisi untuk menciptakan konektivitas ekstra.
- Kawat. Kawat bisa lepas, karena simpulnya bisa lepas, bahan pengisi menurun, kawat rusak atau dicuri.
 - › Ketika kawat longgar dan bahan pengisi dibawah balok horizontal, bahan pengisi harus ditambahkan (didalam jaring) hingga 0,1m di atas balok horizontal dan kawat harus diketatkan di atas bahan pengisi
- Bahan pengisi; lihat diatas, bahan pengisi harus ditambahkan ketika tingkatnya menjadi di bawah balok horizontal. Pengalaman di Demak menunjukkan bahwa bahan pengisi harus ditambahkan secara rutin. Perkiraan kasar mengindikasikan rata-rata 50% per tahun.

Semua pemeliharaan dan perbaikan harus didokumentasikan dengan foto dan kuitansi.

5 REFERENSI DAN SUMBER

1. Dijkema, K.S., W.E. van Duin, E.M. Dijkman, A. Nicolai, H. Jongerius, H. Keegstra, L. van Egmond, H.J. Venema en J.J. Jongsma (2011). 50 jaar monitoring en beheer van de Friese en Groninger kwelderwerken: 1960-2009. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 229. 96 blz.; 20 fig.; 8 tab.; 61 ref.; 9 bijl.
2. McIvor, A. L., T. Spencer, I. Möller and M. Spalding 2013. The response of mangrove soil surface elevation to sea level rise. Natural Coastal Protection Series: Report 3. Cambridge Coastal Research Unit Working Paper 42. The Nature Conservancy and Wetlands International, Cambridge, UK.
3. Schmitt, K., Albers, T., Pham, T. T., Dinh, S. C. (2013). Site-specific and integrated adaptation to climate change in the coastal mangrove zone of Soc Trang Province, Viet Nam. *Journal of Coastal Conservation* 17(3), DOI10.1007/s11852-013-0253-4
4. Spalding, M., McIvor, A., Tonneijck, F.H., Tol, S., van Eijk, P., (2014) Mangroves for coastal defence. Guidelines for coastal managers & policy makers. Published by Wetlands International and The Nature Conservancy. 42 p. Link: <https://www.wetlands.org/publications/mangroves-for-coastal-defence/>
5. van Wesenbeeck, B.K., Balke, T., van Eijk, P., Tonneijck, F., Siry, H.Y., Rudianto, M.E., Winterwerp, J.C. (2015). Aquaculture induced erosion of tropical coastlines throws coastal communities back into poverty. *Journal of Ocean and Coastal Management* 116 (2015) 466-469
6. Winterwerp, J.C., Borst, W.G., de Vries, M.B. (2005). Pilot study on the erosion and rehabilitation of a mangrove mud coast. *J. Coast. Res.* Vol. 21: 223-230
7. Winterwerp, J.C., Erftemeijer, P.L.A., Suryadiputra, N., Van Eijk, P. and Zhang, L. (2013) Defining eco-morphodynamic requirements for rehabilitating eroding mangrove-mud coasts. *Wetlands* Vol. 33: 515-526

PENDEKATAN BUILDING WITH NATURE

- www.ecoshape.org

BUILDING WITH NATURE DI INDONESIA

- www.indonesia.buildingwithnature.nl





LAMPIRAN

X LAMPIRAN 1: PENGARUSUTAMAAN DI INDONESIA

Oleh: Sub-Direktorat Mitigasi Bencana dan Adaptasi perubahan Iklim, Direktorat Pemanfaatan Pulau-Pulau Kecil dan Pesisir, Direktorat Umum Manajemen Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan

PENGARUSUTAMAAN OLEH KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN INDONESIA

Sejak tahun 2015, Kementerian Kelautan dan Perikanan - KKP Indonesia merupakan salah satu dari rekan konsorsium yang mengimplementasikan pendekatan Building with Nature untuk merehabilitasi ekosistem di Pantai utara Jawa dan di beberapa tempat lain di luar Jawa untuk menghentikan abrasi pantai.

Program rekayasa ekosistem, juga disebut Rekayasa Hibrid – *Hybrid Engineering* (HE), dimuat dalam rencana kerja KKP (Peraturan nomor 08 tahun 2016, 55 tahun 2017, dan 65 tahun 2018) dan termasuk didalamnya adalah konstruksi struktur semi-permeabel atau struktur rekayasa hibrid untuk menghentikan abrasi pantai.

Di Demak, secara bertahap 9 km struktur permeabel telah dibangun, 4,4 km oleh mencegah erosi pada area yang terkikis parah. KKP telah melakukan pendekatan di seluruh Indonesia dengan konstruksi total 23,5 km struktur antara 2015-2019 (lihat table A.1).

Struktur rekayasa hibrid yang pada dasarnya hanya terbuat dari dua komponen utama, pengisian ranting kering diantara dua pagar bambu, menjebak sedimen di area pantai yang mengalami erosi. Pada gelombang tinggi ombak datang dan membawa bahan tersuspensi dibalik struktur, dan pada gelombang rendah bahan lumpur akan berdiam disana. Struktur tidak berfungsi sebagai pemecah ombak, tetapi lebih sebagai sedimen yang menjebak yang meniru fungsi sistem akar mangrove pada kondisi ideal. Desain spesifik lokasi tergantung kepada hasil dari analisis ombak dan kriteria stabilitas dari struktur HE ketika terhempas ombak. Pemasangan bambu tambahan (posisi menyilang dari tiang utama bambu) memperkuat struktur bambu.

NO	KABUPATEN/KOTA	PROVINSI	PANJANG (METER)
TAHUN 2015			14.160
1	Kabupaten Cirebon	Provinsi Jawa Barat	2.910
2	Kabupaten Brebes	Provinsi Jawa Tengah	910
3	Kota Semarang	Provinsi Jawa Tengah	3.145
4	Kabupaten Demak	Provinsi Jawa Tengah	915
5	Kabupaten Jepara	Provinsi Jawa Tengah	3.140
6	Kabupaten Pati	Provinsi Jawa Tengah	3.140
TAHUN 2017			7.450
1	Kabupaten Cirebon	Provinsi Jawa Barat	1.850
2	Kabupaten Demak	Provinsi Jawa Tengah	3.300
3	Kabupaten Rembang	Provinsi Jawa Tengah	1.100
4	Kabupaten Pati	Provinsi Jawa Tengah	1.200
TAHUN 2019			1.900
1	Kabupaten Lombok Timur	Provinsi Nusa Tenggara Barat	200
2	Kabupaten Bombana	Provinsi Sulawesi Tenggara	1.100
3	Kabupaten Bone	Provinsi Sulawesi Selatan	600
TOTAL			23.510

Tabel A1 Lokasi struktur HE yang dibangun oleh KKP dengan tahun dan panjang.

Pemantauan hasil dan pelajaran yang dapat diambil

Pada kondisi ideal, struktur permeabel dapat dengan cepat menyimpan sedimen di area pantai yang terkena dampak abrasi. Dapat dilihat pada beberapa lokasi struktur KKP seperti Kabupaten Rembang dan Gresik (gambar A1 dan A2). Lokasi tersebut menunjukkan sedimentasi yang berkisar antara 0,1-0,5 m per bulan selama tiga bulan pertama setelah konstruksi struktur HE. Berdasarkan informasi dari komunitas, selain menjebak sedimen, struktur juga mengurangi gelombang dan melindungi mangrove, tambak, dan pemukiman dibalik struktur.



Gambar A1 Bombana 2019 © KKP

Salah satu pelajaran terpenting dalam mengimplementasikan program struktur HE oleh KKP adalah pentingnya merawat dan memperbaiki struktur yang rusak sehingga struktur dapat bertahan lebih lama dan berfungsi dengan baik. Struktur HE yang rusak akibat ombak besar tidak akan optimal dalam menjebak sedimen atau menahan sedimen yang terjebak, karena sudah tidak berfungsi dengan baik. Sedimen yang terjebak dibalik struktur juga dapat hilang lagi ketika terhempas ombak yang datang melalui struktur yang rusak.

Pemantauan hasil dari struktur HE yang dibangun oleh KKP pada tahun 2015 dan 2017, menunjukkan bahwa pada beberapa lokasi seperti Brebes, Demak, (Desa Timbulsoko dan Babalan), dan Jepara, sedimentasi terbentuk dibalik struktur, tetapi kemudian hilang lagi, karena struktur rusak dan tidak dapat menjebak sedimen.

Kondisi berbeda dapat dilihat di Semarang, Demak (Desa Purworejo), Pati, Rembang, Cirebon, dan Gresik, Dimana sedimen tetap terjebak karena usaha perawatan struktural dan penanaman mangrove dengan tujuan membantu menahan sedimen dan mendukung pertumbuhan kembali mangrove alami di sekitarnya. Hasil pemantauan juga menunjukkan struktur yang masih berada pada kondisi baik karena berada pada lokasi yang terlindungi dari ombak besar. Contoh, di teluk atau di balik tumpukan pasir. Rata-rata sedimentasi yang tinggi merupakan hasil dari lokasi yang dekat dengan sumber sedimen yang cukup.

Oleh karena itu, kunci lain terhadap keberhasilan program struktur HE KKP adalah usaha untuk menjaga sedimen yang terjebak di balik struktur, sehingga sedimen menjadi stabil dan dapat menjadi tempat bagi pertumbuhan mangrove dan berkembang dengan baik.

Struktur permeabel juga masih membutuhkan perbaikan dalam hal bahan yang digunakan dan desain konstruksi, sehingga struktur dapat menjebak dan menahan sedimen dengan baik dan memiliki daya tahan yang lebih lama.

Ancaman lain adalah aktivitas manusia, karena sedimen yang terbentuk juga menjadi habitat bagi berbagai biota laut yang dapat menarik penduduk setempat untuk digunakan sebagai makanan atau dijual.



Gambar A2 Demak, Purworejo, © Apri Susanto Astra, Wetlands International Indonesia

Keterlibatan kelompok komunitas dan pemerintah setempat

Komunitas setempat dan pemerintah setempat berperan penting dalam pemeliharaan struktur semi-permeabel. Kelompok komunitas melakukan aktivitas pemeliharaan atau perbaikan secara independen setelah dilakukan pelatihan pemeliharaan yang dilakukan oleh KKP pemerintah setempat memberikan dukungan dengan mengalokasikan program atau pendanaan untuk pemeliharaan struktur di kabupaten atau perkotaan, yang memastikan keberlanjutan intervensi Building with Nature.

Akan tetapi, keterlibatan pemerintah setempat terhambat oleh undang-undang No.3 tahun 2014 mengenai pemerintah regional yang mengatur pengalihan otoritas untuk mengatur sektor kelautan dari pemerintah kabupaten/kotamadya ke pemerintah provinsi. Oleh karena itu, KKP harus bekerja sama dengan pemerintah provinsi, kabupaten/ kotamadya, dan pedesaan untuk memastikan program struktur HE dapat berjalan secara sinergis dan harmonis pada semua tingkat pemerintahan.

Kepemilikan Lahan

Lahan yang dihasilkan dari sedimentasi di beberapa area memiliki potensi untuk menyebabkan masalah aspek hukum seperti kepemilikan dan pengelolaan. Oleh karena itu, diperlukan persetujuan antara komunitas penerima manfaat dan pemilik lahan sehingga penggunaan lahan baru setelah proses rehabilitasi tidak kembali ke penggunaan lahan yang tidak berkelanjutan sebelumnya.



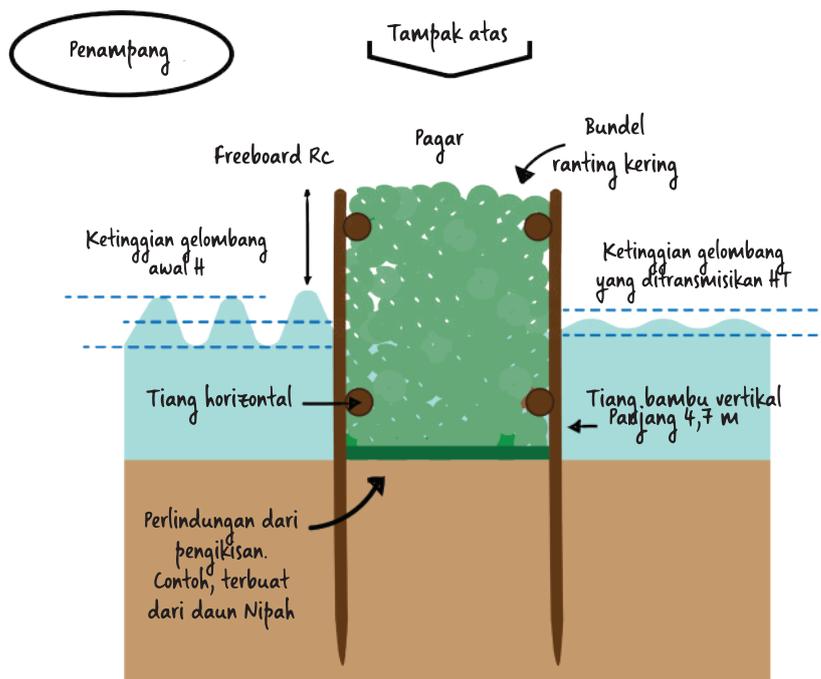
Gambar A3 Bombana 2019, © KKP



X LAMPIRAN 2: DELTA MEKONG, VIETNAM

PENERAPAN PAGAR BAMBU PERMEABEL DI DELTA MEKONG, VIETNAM

Penggunaan sumber daya alam yang tidak berkelanjutan di zona pantai Delta Mekong, Vietnam mengancam fungsi perlindungan dari hutan mangrove setempat. Garis pantai berlumpur merupakan subyek erosi dan rawan terhadap dampak perubahan iklim, khususnya dengan bertambahnya intensitas dan frekuensi badai yang meningkat. Pada lokasi dimana erosi parah menghancurkan sabuk mangrove, restorasi dataran banjir dan rehabilitasi mangrove hanya mungkin terjadi setelah energi gelombang berkurang oleh penghalang fisik. Pendekatan mutakhir dan lokasi spesifik terhadap perlindungan pantai menjadi semakin penting pada konteks ini. Pagar bambu permeabel cocok untuk mengurangi erosi dan menstimulasi sedimentasi. Gambar selanjutnya memuat desain dan pemantauan pagar bambu permeabel, Dimana terdapat total 7500 m dipasang di pantai timur di Delta Mekong I Vietnam (Albers & Schmit, 2016).



Gambar A4 desain pagar bambu permeabel dan menghasilkan transmisi ombak

Pagar terdiri dari dua baris tiang bambu vertikal dengan diameter rata-rata 8 cm dan bundel ranting kering diantaranya. Jarak antar baris adalah 0,40 m untuk bagian lintas pantai dan 0,50 m untuk bagian yang sejajar dengan pantai. Jarak antara dua tiang dalam satu baris adalah sekitar 0,30 m. Dua baris tiang horizontal terhubung ke tiang vertikal pada setiap sisi. Bundel ranting kering antar baris terdiri dari ranting bambu.

Bahan yang digunakan untuk mengencangkan ruas harus berupa kawat baja stainless yang terhubung secara stabil dan awet. Karena perlindungan dari pengikisan berada di bawah, maka dipasang lapisan ganda daun nipah. Akan tetapi, pengikisan tidak dapat dihindari sama sekali, dan kedalaman penanaman dari tiang vertikal pada lumpur dipilih untuk cukup besar sehingga pengikisan tidak mempengaruhi stabilitas pagar. Penyusunan pagar bambu permeabel terdiri dari bagian yang sejajar dengan pantai,

yang mengurangi energi gelombang yang datang dan bagian lintas pantai, yang menurunkan arus sejajar pantai. Tata letak berbentuk huruf T ini ditunjukkan pada gambar 2. Elemen sejajar pantai menutup celah yang terkikis di hutan mangrove dengan menghubungkan lahan utama yang tersisa. Penurunan tinggi ombak dan kecepatan orbit dibawah ombak memicu tingkat sedimentasi yang dipercepat. Hasil dari tolok ukur di Provinsi Bac Lieu menunjukkan deposisi sekitar 17 cm sedimen dalam 7 bulan. Penurunan aktivitas gelombang pada bagian yang mengarah ke daratan dari pagar juga mempercepat konsolidasi pasir dan meningkatkan stabilitas sedimen dalam melawan erosi. Ditunjukkan dengan kepadatan lumpur yang dilihat di Provinsi Soc Trang dan dapat dilihat pada gambar 3 (foto kiri bawah). Warna lumpur dan kolonisasi oleh *Avicennia* menunjukkan konsolidasi sedimen dari tepi lahan menuju celah pada pagar berbentuk T.

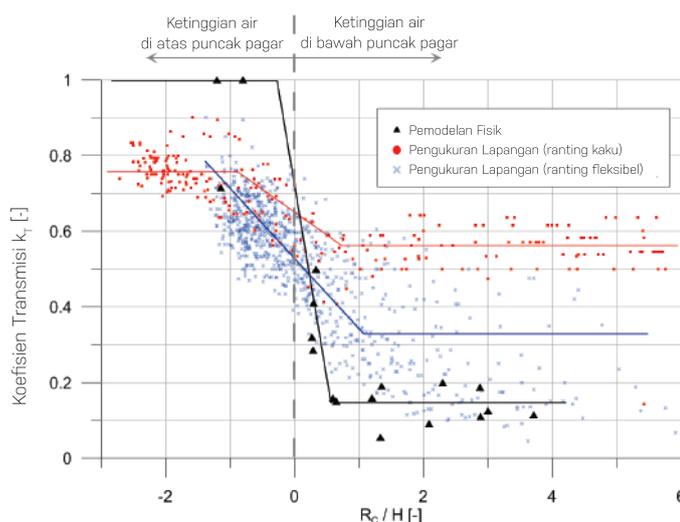


Gambar A5 – restorasi dataran banjir yang terkikis dengan menggunakan pagar bambu berbentuk huruf T di Provinsi Bac Lieu (Delta Mekong, Vietnam) © Cong ly dan GE Wind 2013



Gambar A6 regenerasi alami *Avicenna* di dataran banjir yang dipulihkan di Provinsi Soc Trang dari konstruksi pagar T Oktober 2012 hingga januari 2015 © GIZ Soc Trang, R. Sorgenfrei

Pada gambar kiri atas pada gambar 3 dari November 2012 elemen paralel pantai dari pagar T masih terlihat dengan jelas. Foto kanan atas (Februari 2013) menunjukkan awal dari sedimentasi. Pada November 2013 konsolidasi sedimen mulai dari tepi menuju ke celah pada pagar T dan regenerasi *Avicennia* alami mulai terjadi (Gambar A3 foto kiri bawah). Foto kanan bawah pada Gambar A3 (Januari 2015) menunjukkan pertumbuhan mangrove, yang tidak diganggu oleh aktivitas ombak (dengan adanya dataran banjir yang tinggi/memulih) atau dampak manusia.



Gambar A7 – koefisien transmisi gelombang pagar bambu pada berbagai kondisi hidrologis.

Program pemantauan menganalisa pengukuran gelombang untuk menghitung efek transmisi gelombang pada pagar bambu pada dan kondisi gelombang yang bervariasi. Gelombang diukur pada dua lokasi yaitu pada sisi laut dan sisi darat dari pagar bambu, masing-masing pada jarak sekitar 5 m dari pagar. Transduser tekanan digunakan untuk pengukuran, yang dicatat selama sekitar enam bulan dengan frekuensi 10 Hz. Data gelombang dianalisa dan disimpulkan pada periode

selama 15 menit dengan ketinggian gelombang yang signifikan.

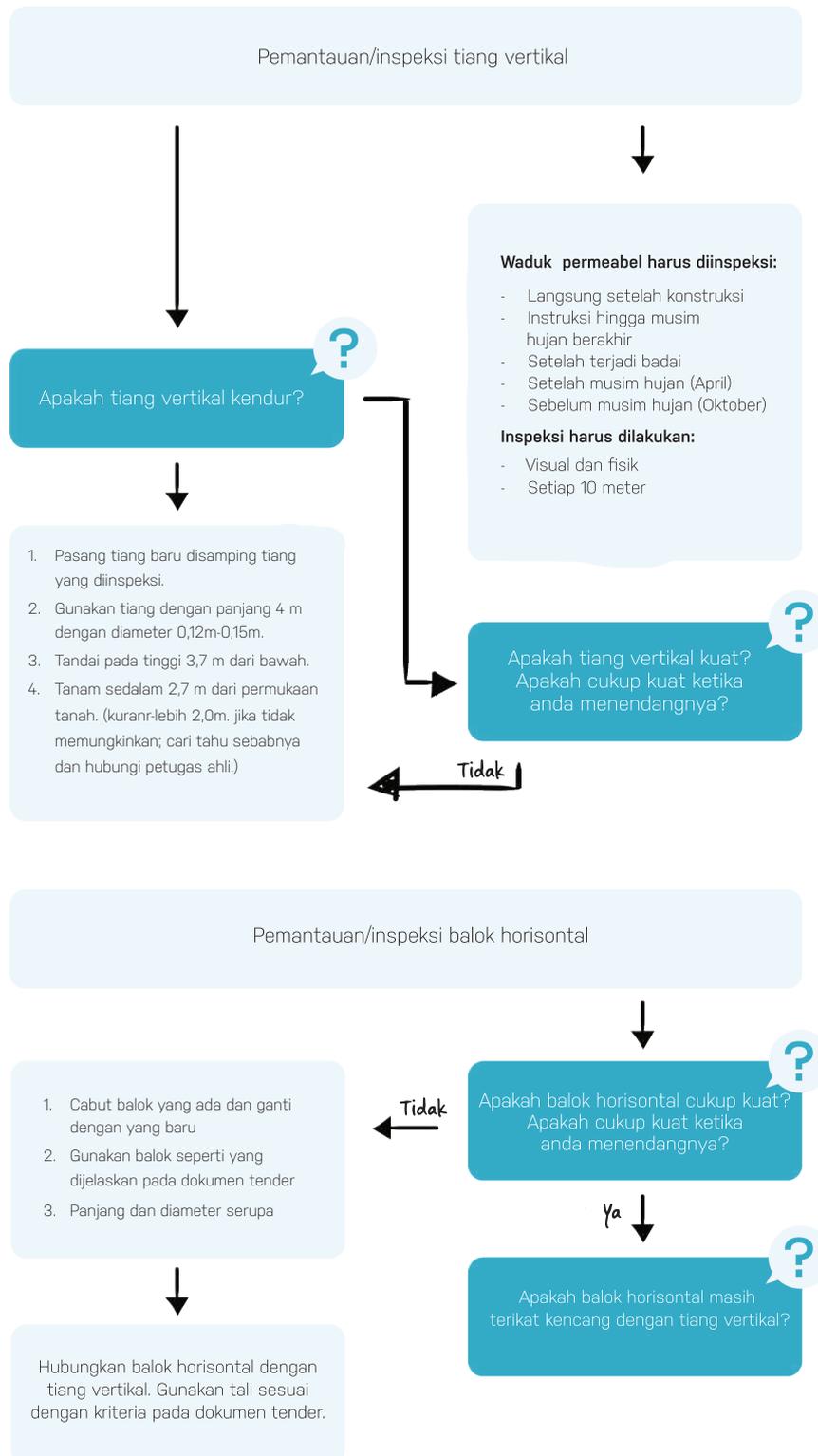
Gambar 4 menunjukkan pengukuran lapangan dalam perbandingannya dengan hasil dari pemodelan fisik yang menunjukkan bahwa transmisi ombak koefisien k_T terkait dengan hasil bagi freeboard R_C dan tinggi gelombang H_S yang signifikan di awal. Bundel fleksibel memicu koefisien transmisi gelombang yang lebih kecil (titik biru) dibanding bundel yang kaku (titik merah), dan karena memiliki efek melemahkan gelombang yang lebih besar yang dapat mencapai hingga 80% penurunan dari tinggi gelombang diawal. Garis biru dan merah mewakili yang paling cocok pada nilai yang diukur.

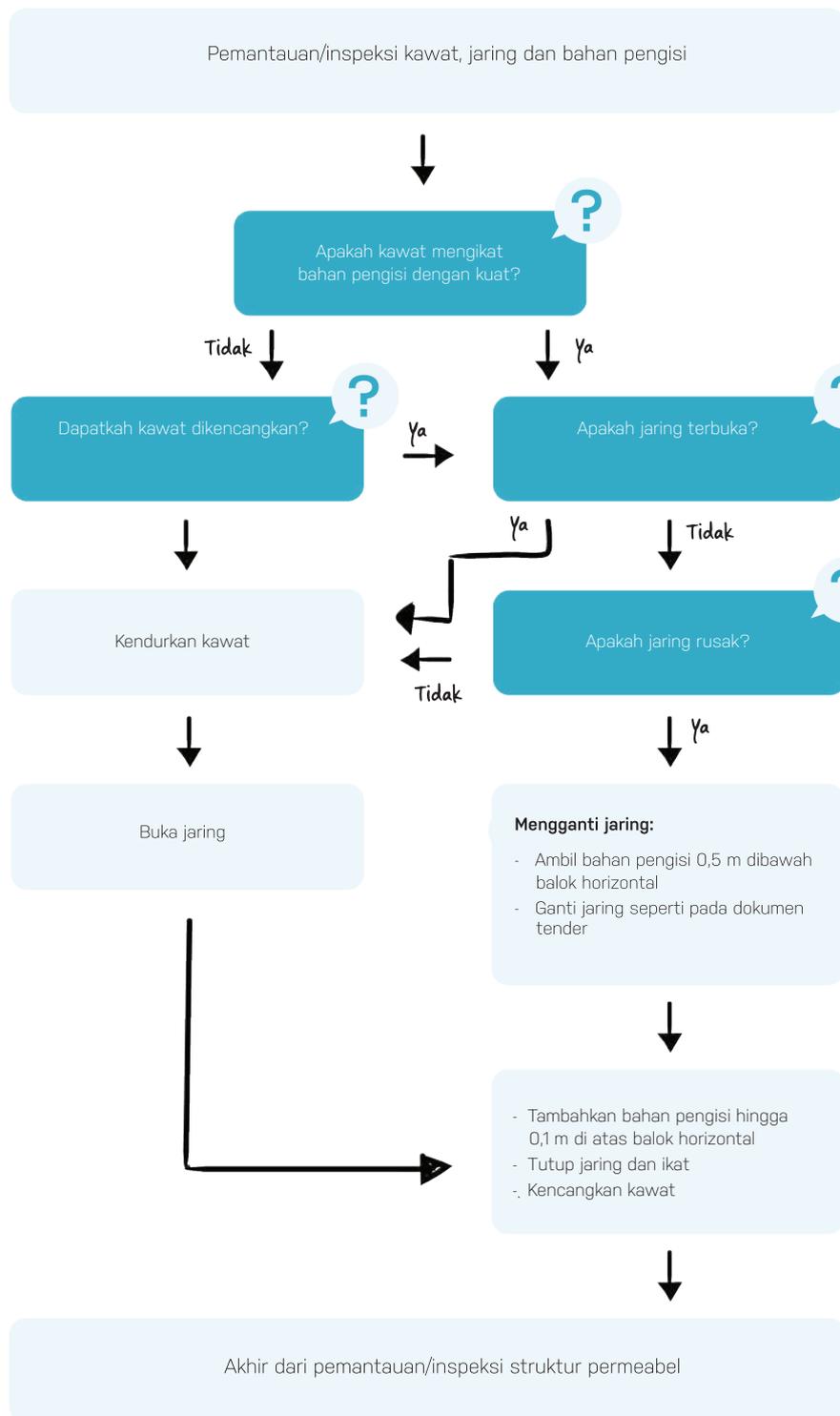
Sepanjang bagian pantai tanpa mangrove, pagar bambu T merupakan ukuran perlindungan pesisir yang efektif untuk memulihkan dataran banjir dan menciptakan kondisi untuk regenerasi mangrove. Efek transmisi gelombang cukup untuk menurunkan ketinggian gelombang secara signifikan dan menstimulasi sedimentasi pada sisi daratan. Merupakan konstruksi yang hemat biaya dan lebih bisa dilakukan daripada struktur besar pada tanah yang lunak.

Albers, Schmitt (2016): Dyke design, floodplain restoration and mangrove co-management as parts of an area coastal protection strategy for the mud coasts of the Mekong Delta, Vietnam. In: *Wetlands Ecology and Management*. Springer. Volume 23, Issue 6 (2015), halaman 991-1004, DOI 10.1007/s11273-015-94413

X LAMPIRAN 3: FLOW CHART PEMANTAUAN DAN PEMELIHARAAN

FLOW CHART UNTUK PEMANTAUAN DAN PEMELIHARAAN STRUKTUR PERMEABEL







X DAFTAR SPESIES, SINGKATAN, GAMBAR, DAN TABEL

DAFTAR SPESIES

NAMA PADA DOKUMEN	NAMA ILMIAH
Bambu	<i>Bambusa spp.</i>
Bambu Apus dan Betung	Terdapat lebih dari 1000 spesies bambu. Dua varietas dibedakan untuk proyek Jawa, satu atau lebih banyak spesies
Ranting kering	Pada proyek di area Jawa, ranting kering terbentuk dari satu atau lebih dari spesies berikut: <i>Tectona grandis</i> (jati), <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Hybiscus roseus</i> atau <i>Mangifera indica</i> (mangga)
Batang kelapa	Kelapa (<i>Cocos nucifera</i>)
Kayu Gelam	Gelam (<i>cf. Melaleuca cajuputi</i>)
Nibung	<i>Oncosperma tigillarum</i>
	Nama Nibung mengacu kepada spesies yang sangat mirip yang disebut Nibung Gunung, <i>O. horridum</i> , di Indonesia disebut Bayeh. Spesies ini memiliki karakteristik berkualitas tinggi yang sama dengan <i>O. igillarum</i> .
Palem Nipah	<i>Nypa fruticans</i>
KayuWalaba	Satu atau lebih spesies pohon dari Amerika Selatan dari genus <i>Eperua</i> (<i>E. falcata</i> , <i>E. grandiflora</i> , <i>E. jenmanii</i> , <i>E. schomburkiana</i>), dan juga <i>E. grandiflora</i>

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Deskripsi
AMDAL	Analisa mengenai dampak lingkungan hidup
BMUB	Kementerian Lingkungan dan Konservasi Alam, Pembangunan, dan Keselamatan Nuklir
cm ²	Centimeter persegi
EUR	Euro
HWS	High Water Spring
HS	Significant wave height
HSE	Health, safety, and environment – K3 – Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Hz	Hertz – frekuensi
IDR	Indonesian Rupiah – Rp. Rupiah
IKI (ICI)	International Climate Initiative
kg	Kilogram (satuan berat)
kT	Wave transmission coefficient
LWS	Low Water Spring
m	Meter (satuan jarak)
mm	Millimeter (satuan jarak)
MMAF (KKP)	Kementerian Kelautan dan Perikanan
MLWS	Mean Low Water Spring
MHWS	Mean High Water Spring
MSL	Mean Sea Level
OE	Owner Estimate – harga perkiraan sendiri
PPE	Personal Protection Equipment – alat perlindungan diri
PU (PUPR)	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia
RAB	Rencana Anggaran Biaya
RC	Freeboard
s	Second – detik (satuan waktu)
ToT	Training of Trainers – pelatihan untuk pelatih
UKL-UPL	Upaya Pengelolaan Lingkungan Upaya Pemantauan Lingkungan

DAFTAR GAMBAR

NO. GAMBAR	HALAMAN	JUDUL
1	6	Struktur permeabel di Timbulsloko (Demak, Indonesia) © Tom, Wilms, Witteveen+Bos
2	7	Konstruksi struktur permeabel oleh perempuan setempat di Timbulsloko (Demak, Indonesia) © Nanang Sujana
3	8	Keseimbangan sedimen dalam kondisi tidak terganggu © Joost Fluitsma, JAM Visual Thinking
4	9	Struktur baru dapat ditempatkan mengarah ke laut begitu begitu sedimen yang cukup telah terjebak dibalik struktur yang ada © Joost Fluitsma, JAM Visual Thinking
5	11	Sketsa jarak struktur dari garis pantai yang ada. Semua struktur dapat ditempatkan sekaligus. Prioritasnya adalah yang mengarah ke daratan. © Witteveen+Bos
6	12	Contoh dari desain spasial di Timbulsloko (Demak, Indonesia) © Pro57
7	13	Struktur permeabel meniru sistem akar alami pada pohon mangrove yang memecahkan ombak yang datang, mengurangi kecepatan orbit dan turbulensi serta menjebak sedimen. © Joost Fluitsma – JAM Visual Thinking
8	14-15	Komponen pada struktur permeabel © Witteveen+Bos
9	20	Konfigurasi tiang vertikal © Witteveen+Bos
10	20	Tampak depan dari konfigurasi yang tidak kokoh
11	21	Sisi berbentuk huruf T pada masing-masing struktur yang sejajar dengan pantai dan sepanjang bukaan © Pro57
12	22	Desain alternatif yang lebih lebar diantara tiang, menopang struktur di belakang, balok horizontal yang lebih tebal © Tom Wilms, Witteveen+Bos
13	22	Struktur permeabel © Tom Wilms, Witteveen+Bos
14	24-25	Proses dari desain hingga konstruksi struktur permeabel © Wetlands International Indonesia
15	28	Kunjungan ke desa untuk membahas desain yang diusulkan © Witteveen+Bos dan Wetlands International Indonesia
16	29	Pengukuran tingkat lapisan tanah yang keras © Bagus Maulana
17	29	Elemen alami untuk menandai tolok ukur © Tom Wilms, Witteveen+Bos

NO. GAMBAR	HALAMAN	JUDUL
18	31	Pelatihan oleh Sekolah Lapangan Pesisir (kanan) Pelatihan K3 bagi komunitas setempat © Deinar Santayana, Witteveen +Bos
19	32	Persediaan bahan dan quality control bahan © Deinar Santayana, Witteveen+Bos
20	33	Transportasi terapung dan persediaan bahan © Bagus Maulana
21	33	Pemasangan tiang vertikal dan komponen lainnya © Deinar Santayana, Witteveen+Bos
22	33	Instalasi manual sebuah tiang individu © Deinar Santayana, Witteveen+Bos
23	36	Pemantauan sedimentasi dengan tiang sedimentasi © Tom Wilms, Witteveen+Bos
A.1	45	Bombana 2019 © KKP
A.2	46	Demak Puworejo, © Apri Susanto Astra, Wetlands International Indonesia
A.3	47	Bombana 2019, © KKP
A.4	49	Desain batang bambu permeabel dan menghasilkan transmisi gelombang
A.5	50	Pemulihan dataran banjir yang terkikis dengan menggunakan pagar bambu berbentuk huruf T di Provinsi Bac Lieu (Delta Mekong, Vietnam). © Cong ly dan G.E. Wind 2013
A.6	50	Regenerasi Avicennia secara alami pada dataran banjir yang dipulihkan di Provinsi Soc Trang dari konstruksi pagar berbentuk huruf T pada bulan Oktober 2012 hingga Januari 2015. © GIZ Soc Trang, R. Sorgenfrei
A.7	51	Koefisien transmisi gelombang pagar bambu pada berbagai kondisi hidrologis

DAFTAR TABEL

NO. GAMBAR	HALAMAN	JUDUL
1	16	Beberapa bahan alternatif untuk setiap komponen pada struktur permeabel, berdasarkan pengalaman di Demak.
2	21	Variasi pada tata letak dari komponen yang berbeda.
3	26	Contoh jadwal aktivitas selama satu tahun.
4	31	Masalah Kesehatan, keselamatan, dan keamanan lingkungan (K3) selama konstruksi.
A.1	44	Lokasi struktur HE yang dibangun oleh KKP dengan tahun dan panjangnya.



STRUKTUR PERMEABEL

Building with Nature untuk memulihkan pantai berpasir tropis terabrasi

