

BAB V

LANDASAN TEORI

Permasalahan utama dan spesifik sangat berkaitan erat dengan fungsi bangunan terhadap kondisi lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, maka beberapa permasalahan utama tersebut harus diselesaikan secara tepat menggunakan beberapa teori pendukung, antara lain :

5.1 Landasan Teori untuk Memecahkan Masalah 1

Permasalahan pertama berhubungan dengan pemanfaatan potensi yang ada pada alam sekitar untuk menunjang sekolah alam. Sekolah dasar alam merupakan sekolah berbasis alam dengan masyarakat berekonomi rendah atau mereka yang mengalami putus sekolah sebagai pengguna sekolah alam tersebut. Sekolah alam memiliki metode pembelajaran yang berbeda jika dibandingkan dengan sekolah formal pada umumnya. Karena disekolah alam semua aktivitas 70% menggunakan alam yang mayoritas dilakukan pada ruang luar dengan memanfaatkan alam sebagai media dan sarana pembelajaran maka ada indikasi bahwa sekolah alam lebih ekonomis. Merespon kondisi lingkungan sekitar yang banyak dipenuhi oleh potensi alam untuk material pun berasal dari alam maka untuk bangunan pun tidak perlu mewah dan berbahan yang mahal.

5.1.1 Sistem Pembelajaran Melalui Alam

Sistem pembelajaran pada sekolah alam mayoritas atau 70 % dilakukan pada kawasan *outdoor* sehingga banyak pembelajaran secara langsung melalui pengalaman-pengalaman praktek dengan alam yang dilakukan pada kegiatan di sekolah. Potensi sumber daya alam memiliki peran penting bagi sekolah alam karena sebagai media serta sarana dari pembelajaran. Beberapa potensi alam yang akan dimanfaatkan oleh sekolah alam untuk pembelajaran ialah sungai, persawahan, perkebunan buah naga, serta hutan bambu.

Sekolah Dasar Alam pembelajaran di alam atau outdoor meliputi:

1. Berenang, jika sekolah formal menggunakan kolam renang yang harus membayar masuk dan menyewa kawasan lain halnya pada sekolah alam. Pada sekolah alam kegiatan berenang diadakan pada area sungai yang terdapat pada sekitar kawasan

sekolah alam. Disini peserta didik diajarkan beberapa kegiatan seperti arum jeram, selusur sungai, berenang, bersih sungai, mempelajari mengenai keanekaragaman sungai, dll. Peserta didik diajak untuk mengamati dan merasakan secara langsung apa saja yang ada disungai sehingga timbul rasa menghargai, peduli, ikut menjaga dan cinta terhadap lingkungan sekitar.

2. Berkebun atau bertani, pada kawasan Kecamatan Ungaran Barat mayoritas mata pencaharian adalah dari sektor pertanian dan perkebunan. Sehingga mayoritas peserta didik dari kalangan keluarga sebagai petani. Pada daerah sekolah alam memiliki banyak potensi alam persawahan dan perkebunan buah naga. Disini anak diajarkan turun langsung untuk belajar mengenai pertanian yaitu dengan menanam dan memanen padi pada sawah sekitar. Lalu, belajar melalui area perkebunan buah naga bagaimana memanen buah naga. Atau belajar melalui hutan bambu yang jika sudah cukup umur maka akan dapat digunakan untuk material bangunan pada sekolah alam. Melalui kegiatan ini diharapkan nantinya peserta didik mampu berkembang dan membentuk karakter murid menjadi cinta pada alam, peduli terhadap lingkungan, kerja keras bahwa dari tanaman padi terdapat pelajaran yang dapat dipetik yaitu jika kita bekerja keras dan berusaha semaksimal mungkin kelak kita akan menuai hasil yang baik juga.
3. *Outing*, kegiatan pembelajaran yang dilakukan menggunakan potensi alam sekitar yaitu seperti *tracking* atau *caving* di aliran sungai sekitar
4. *Market Day*, pembelajaran ini merupakan lanjutan dari kewirausahaan yang dengan maksud ialah memanfaatkan hasil panen yang telah ditanam sebelumnya oleh peserta didik untuk diolah maupun di gunakan sebagai modal bisnis mereka yang nantinya juga dapat diperjual belikan pada daerah sekitar. Karena mayoritas anak merupakan kalangan kurang mampu. Maka perlu edukasi untuk pengajaran dan penanaman karakter sehingga menjadi generasi yang berkemampuan dan mandiri.

5.1.2 Material Alam

Material berasal dari sumber daya alam yang ada dikawasan sekitar dengan memanfaatkan yang ada pada alam berarti juga berkontribusi dalam pengurangan limbah pada saat kontruksi karena telah menggunakan material ramah lingkungan. Penggunaan

material yang didasarkan keamanan serta kenyamanan penghuni gedung. Material yang dimaksud ialah material baru maupun bekas seperti misalnya bambu.

Bambu adalah tanaman yang asalnya dari rumpun rerumputan yang memiliki rongga juga ruas di batang selain itu mudah berkembang biakan pada area dataran rendah atau dataran tinggi. Di kawasan sekitar tapak bambu banyak ditemukan tetapi pada tempat-tempat yang terbuka bebas dari genangan air. Bambu sangat profitable sebab memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi. Laju pertumbuhan dipengaruhi oleh iklim, keadaan tanah, dan jenis bambu. Biasanya bambu bertambah tinggi lebih dari ± 10 cm per hari. Bagian-bagian dari bambu dapat dibedakan menjadi 3 bagian yaitu:

1. Batang, merupakan bagian yang muncul pada permukaan tanah dengan bentuk lurus bulat. Terdiri atas ruas-ruas yang dibatasi oleh sekat buku. Pada setiap buku bambu (node) memiliki 2 cincin yaitu cincin atas dan cincin bawah. Komposisi masing-masing bergantung pada jenis bambu, usia, dan kondisi dari pertumbuhan bambu.
2. Tunggul, merupakan bagian dibawah batang yang sebagian muncul pada permukaan tanah serta sebagiannya lagi pada bawah tanah. Tunggul ini berhubungan langsung dengan akar bambu atau rizoma.
3. Akar rizoma, bagian yang terdapat paling bawah dan didalam tanah yang terdiri atas puluhan bagian kecil. Akar ini tidak memiliki tunas bambu.

Jenis-jenis bambu ada berbagai macam, berikut ini beberapa jenis bambu yang sering digunakan untuk bangunan ;

1. Bambu Tali atau Apus, memiliki ruas terpanjang yaitu 45-65 cm. dengan diameter 5-8 cm lebih kecil dibandingkan lainnya. Dengan panjang batang 8-13 cm. memiliki sifat liat dan kuat dan ketebalan daging yaitu 6-13 mm. biasa digunakan untuk konstruksi atap yaitu reng dan sebagai konstruksi dinding partisi. Untuk dinding dapat dianyam jika diletakkan pada dalam bangunan atau di belah menjadi dua jika diletakkan pada luar bangunan.
2. Bambu petung, bambu ini memiliki 2 warna yaitu hitam dan hijau serta memiliki ketebalan daging paling tebal jika dibandingkan dengan bambu lain. Panjang batang mencapai 20 cm dengan diameter 20-30 cm dan jarak antar ruasnya yaitu 40-60cm. biasanya dimanfaatkan untuk memasang pondasi dan tiang rumah.

3. Bambu duri atau ori, memiliki diameter 15-18 cm dengan jarak antar ruasnya 20-40cm. memiliki kulit yang halus dan licin sering digunakan sebagai pelapis lantai atau parket. Selain itu kuat dan besar layaknya bambu petung sehingga dapat digunakan untuk konstruksi atap rumah juga.
4. Bambu wulung atau hitam, memiliki panjang batang 7-15 cm dengan jarak antar ruasnya 40-50cm dan berdiameter 7-10cm. bambu ini tidak liat atau getas sehingga banyak digunakan untuk kerajinan dan furniture kecil saja karna tidak tahan menahan beban terlalu berat. Selain itu juga karena tampilannya yang menarik sehingga banyak digunakan untuk dinding dalam bangunan.

Sifat-sifat bambu terdiri atas sifat fisik dan sifat mekanik. Berikut ini beberapa sifat-sifat dari bambu:

1. Sifat fisik, sifat yang tampak pada bambu yaitu sebagai berikut;
 - a. Kadar air

Bambu bersifat higroskopis, artinya mampu menyerap uap air atau air bila tekanan uap air pada luar batang lebih besar dibanding dalam batang. Di sisi lain, bambu bersifat desorbtif, yakni mampu mengeluarkan uap air bila tekanan pada luar batang lebih kecil dibanding dalam batang. Kadar airnya beragam tergantung usia, jenis bambu serta waktu penebangan. Bambu yang berusia 1 tahun memiliki kadar air yang relatif tinggi ± 120 s.d 130% pada pangkal atau ujung. Bambu berusia 3 s.d 4 tahun, kadar air di pangkal lebih tinggi daripada di ujung. Batang bambu yang dipotong pada musim kemarau memiliki kadar air yang minimal.

- b. Muai dan susut

Bambu dapat mengembang & menyusut karena perubahan suhu juga kelembaban. Ekspansi dan kontraksi ini dapat menyebabkan bangunan retak. Jika bambu digunakan sebagai tulangan beton, sambungan antara beton dan bambu bisa longgar sehingga mudah dilepas.

Jenis Bambu	Bagian	Muai Rata-Rata (%)	Susut Rata-Rata (%)	Kisaran (%)
Bambu Apus	Pangkal	19,129	1,364	20,493
	Tengah	13,586	4,891	18,477
	Ujung	11,923	4,479	16,402
Bambu Ori	Pangkal	13,073	4,262	17,336
	Tengah	10,873	6,965	17,837
	Ujung	11,392	7,499	18,891
Bambu Petung	Pangkal	1,852	9,261	11,113
	Tengah	5,856	9,941	15,797
	Ujung	2,935	9,699	12,633
Bambu Wulung	Pangkal	15,461	2,677	18,138
	Tengah	8,284	8,950	17,235
	Ujung	3,866	7,562	11,428

Table V. 1 Pemuaian dan Susut Pada Tanaman Bambu

Sumber : www.ferrndalle.com

c. Berat Jenis

Berat jenis yaitu perbandingan berat kering tanur suatu benda dengan volume air yang beratnya sama dengan volume benda tersebut. Makin tinggi berat jenis bambu, makin rendah kadar airnya. Berat jenis berbagai jenis bambu dapat ditinjau dari tabel berikut.

Jenis Bambu	Berat Jenis (gr/cm ³)
Bambu Apus	0,509
Bambu Legi	0,613
Bambu Wulung	0,685
Bambu Petung	0,717
Bambu Ori	0,744
Bambu Ampel	0,769

Tabel Berat Jenis Bambu
Sumber: www.eprints.unika.ac.id

Table V. 2 Jenis Bambu dan Berat Jenis Pada Tanaman Bambu

Sumber : www.ferrndalle.com

d. Ketahanan terhadap api

Kerapatan serat di dinding luar juga kadar asam dersik yang tinggi membuat bambu sulit terbakar, Batang bambu terbakar akan bengkok dan patah.

2. Sifat Mekanik

Sifat mekanik bambu antara lain:

a. Kekuatan geser Kekuatan geser adalah kemampuan bambu untuk menahan gaya yang menyebabkan salah satu bagian dari bambu juga terlepas dari bagian lain yang berdekatan. Kuat geser bambu adalah kelemahan dalam konstruksi bambu. Kuat geser bambu dipengaruhi oleh takaran air (semakin tinggi kadar air, semakin rendah kuat geser) ketebalan dinding sel, dan berat jenis bambu. Kuat geser sejajar dengan arah serat yang diperbolehkan di Indonesia sebesar 2.45 N/mm².

b. Kekuatan lentur

Kekuatan lentur merupakan yang mencoba menekuk bambu atau menahan beban mati atau hidup selain dari beban tumbukan. Kuat lentur bambu dipengaruhi oleh kadar air (semakin tinggi kadar air, semakin rendah kuat lentur) dan node/buku-buku batang. Tegangan lentur diperbolehkan di Indonesia sebesar 9,80 N/mm².

c. Kekuatan tarik

Kuat tarik adalah kekuatan bambu guna menahan gaya-gaya yang berusaha memisahkan bambu satu sama lain. Ada dua jenis kuat tarik bambu, yaitu:

- Kekuatan tarik sejajar dengan arah serat
- Kekuatan tarik tegak lurus dengan arah serat

Kuat tarik sejajar arah serat lebih besar daripada kuat tarik tegak lurus arah serat.

Tegangan tarik sejajar dengan arah serat diperbolehkan di Indonesia sebesar 29,4 N/mm².

Kekuatan tarik beberapa jenis bambu dapat ditinjau melalui tabel di berikut:

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tarik (Mpa)
Bambu Petung	Pangkal	268
	Tengah	177
	Ujung	268
Bambu Tutul	Pangkal	239
	Tengah	292
	Ujung	449
Bambu Galah	Pangkal	192
	Tengah	335
	Ujung	232
Bambu Apus	Pangkal	144
	Tengah	137
	Ujung	174

Table V. 3 Jenis Bambu, Bagian & Kekuatan Tarik Pada Tanaman Bambu

Sumber: www.ferryndalle.com

d. Kekuatan tekan

Kuat tekan yaitu kekuatan atau ketahanan bambu terhadap gaya tekan yang bekerja sejajar atau tegak lurus dengan serat bambu. Gaya tekan yang bekerja secara paralel dengan serat bambu akan menyebabkan bahaya tekuk pada bambu. Gaya tekan yang bekerja tegak lurus terhadap arah serat akan menyebabkan terjadinya keretakan pada bambu. Kuat tekan bambu dipengaruhi oleh kadar air (penurunan kadar air akan meningkatkan kuat tekan sejajar arah serat) dan densitas bambu (semakin tinggi densitas bambu maka semakin tinggi kuat tekan sejajarnya. ke arah serat). Tegangan tekan sejajar arah serat yang diperbolehkan di Indonesia sebesar 7,85 N/mm².

Kekuatan tekan beberapa jenis bambu dapat ditinjau melalui tabel di berikut:

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tekan (Mpa)
Bambu Petung	Pangkal	277
	Tengah	409
	Ujung	548
Bambu Tutul	Pangkal	532
	Tengah	543
	Ujung	464
Bambu Galah	Pangkal	327
	Tengah	399
	Ujung	405
Bambu Apus	Pangkal	215
	Tengah	288
	Ujung	335

Table V. 4 Jenis Bambu Beserta Bagiannya Dengan Kekuatan Tekan Tanaman Bambu

Sumber: www.ferryndalle.com

Pengawetan Bambu

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam memilih metoda dan bahan pengawet yaitu kondisi eksisting bambu kering atau basah, bentuk bambu apakah utuh atau belah, tujuan penggunaan dari struktur hingga non struktur dan skala pengawetannya.

Metode Pengawetan Tradisional

1. Pengendalian waktu tebang

Bambu sebaiknya ditebang pada umur 3-6 tahun karena memiliki mutu dan kekuatan paling tinggi. Jika dirawat dan dikeringkan dengan baik, bisa tahan hama dan jamur. Batang bambu dipotong sekitar 15-30 cm atau ruas kedua diatas tanah dengan parang. Selain itu masa menebang bambu bergantung pada kandungan kanjinya.

Setelah itu melalui proses perendaman selama 1 bulan untuk menghilangkan kandungan kanjinya yang kemudian proses selanjutnya yaitu pengasapan. Proses pengasapan ini agar menghilangkan kelembaban dan kanji yang tersisa didiamkan hingga menghitam. Lalu bambu juga akan mengalami proses pembakaran, pada proses ini kanji akan mengeras dan membuat bambu semakin kuat dan lurus. Dan yang terakhir proses perebusan agar kanji membentuk gel dan mengurangi serangan serangga.

Metode Pengawetan Modern

- Pengawetan jangka panjang (material bangunan berjangka panjang)
 - a. Metode tangki terbuka, direndam beberapa hari pada wadah yang terbuka dan diisi jenis larutan pengawet.

- b. Metode *Butt End*, untuk batang bambu pendek dan memiliki kandungan air tinggi dengan cara meletakkan kedalam tangki larutan pengawet secara vertical dengan daun bambu tetap dipertahankan.
 - c. Metode *Boucherie*, dari batang, tangkai hingga kedaun semua disambung ke drum besi yang terdapat larutan pengawetan menggunakan metode selang.
 - d. Metode tangki bertekanan, batang bambu dikeringkan lalu dimasukkan pada tangka bertekanan pada proses penyerapan larutan pengawet.
 - e. Metode pengawetan vertical, potongan bambu 7 meter di sandarkan lalu di alirkan pengawet secara vertikal.
- Pengawetan jangka pendek yaitu penyemprotan – pelapisan – pencelupan

5.1.3 Tanah

Desa Bandarjo, Kecamatan Ungaran Barat dengan 64% berupa lahan pertanian sisanya merupakan non pertanian. Memiliki jenis persebaran tanah yaitu tanah Latosol, tanah ini berpotensi dan cocok dimanfaatkan untuk budidaya tanaman agricultural. Tanah jenis latosol ini tergolong menjadi tanah yang subur sehingga cocok digunakan untuk lingkungan luar bangunan. Tanah ini akan digunakan sebagai media dari penanaman tanaman pada kebun buatan sekolah alam yang akan diajarkan pada pembelajaran sekolah alam selain tanaman hidroponik. Karena mayoritas peserta didik berasal dari kalangan keluarga bermata pencaharian sebagai petani sehingga sebaiknya juga memahami berbagai macam tanah yang nantinya akan dimanfaatkan untuk pertanian.

5.2 Landasan Teori untuk Memecahkan Masalah 2

Permasalahan kedua berhubungan dengan mewujudkan suatu sekolah dasar alam untuk kalangan masyarakat kurang mampu yang dapat mewedahi pendidikan dengan pendekatan *sustainable architecture* baik dari segi lingkungan maupun bangunannya. Karena proyek sekolah alam ini ditujukan bagi kalangan ekonomi rendah maka bangunan akan ekonomis. Karena menerapkan salah satu prinsip *sustainable* yaitu efisiensi energy yang menghadirkan sumber energy baru dengan memanfaatkan air bersih dari konservasi air hujan yang ditampung dan diolah sehingga untuk energy yang keluar menjadi energy baru yang dimanfaatkan kembali kedalam desain bangunan. Sehingga untuk biaya operasional yang dikeluarkan untuk dana infrastruktur bangunan lebih hemat dan ekonomis. Selain itu juga bisa menjadi sumber kegiatan pembelajaran untuk siswa dalam

upaya penerapan keberlanjutan lingkungan. Selain itu ada nilai positif tambahan jika bangunan dapat *sustainable*, alam pun juga dapat *sustainable* yaitu dengan ketidakhadiran limbah dari proses konstruksi bangunan karena material dari bambu yang telah terdapat pada area tersebut. Lalu air hujan juga tidak terbuang sia-sia karena di recycle kembali dan dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan sekolah alam seperti penyiraman vegetasi sekolah alam, aliran kebun hidroponik, air kamar mandi, dan sebagainya.

5.2.1 Pengertian Sustainable Architecture

Menurut Jason F. McLennan (2004), *Sustainable Architecture* merupakan sebuah dasar dari filosofis gerakan seseorang untuk menjelaskan ulang tentang bagaimana bangunan dirancang dan dibangun dengan penuh tanggungjawab kepada lingkungannya. (Jason F. McLennan, 2004) *Sustainable Architecture* memiliki 3 prinsip yang selalu menjadi pertimbangan yaitu ekonomi, social, dan lingkungan, yang merupakan langkah maju untuk menunjukkan tanggung jawab generasi sekarang atas warisan generasi masa depan untuk kehidupan yang lebih baik bagi generasi mendatang. Bisa juga diartikan sebagai usaha untuk memenuhi kebutuhan masa ini beserta mempertimbangkan generasi yang akan datang agar kebutuhan mereka juga bisa terpenuhi. (Keeping & Shiers, 2017)

Sustainable (Keberlanjutan) juga sebagai reaksi umum terhadap krisis lingkungan global, pesatnya pertumbuhan ekonomi juga populasi manusia, menipisnya sumber daya alam, rusaknya ekosistem dan hilangnya keanekaragaman hayati, sehingga terjadi keseimbangan pemikiran pembangunan, pembangunan serta ide gagasan dari manusia untuk kehidupan yang lebih baik. Serta dirasa dapat meningkatkan kualitas bangunan dengan memaksimalkan potensi yang ada di alam sebagai solusi terhadap permasalahan lingkungan, kenyamanan, estetika, dan biaya.

Sehingga *Sustainable Architecture* adalah ilmu arsitektur yang mampu ditinjau dari kekhasan dan keadaan lingkungan tersebut, baik lingkungan maupun budaya, sebelum merancang dengan tujuan bekerja dengan alam untuk memenuhi kebutuhan manusia sekaligus melestarikan keberadaan lingkungan. *Sustainable Architecture* adalah sebuah konsep yang menjawab serangkaian kekhawatiran tentang dampak aktivitas manusia. Dalam buku *Sustainable Design* karya Daniel E. Williams disebutkan bahwa ciri-ciri desain berkelanjutan adalah fleksibilitas, mampu menjaga dan menghargai terutama terhadap alam.

5.2.2 Tujuan Utama Sustainable Architecture

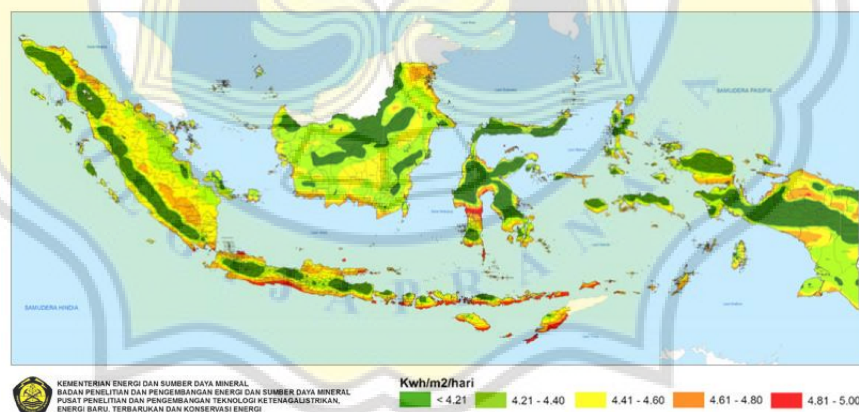
Ada dua hal tujuan utama dari Sustainable architecture yaitu :

- a. Memanfaatkan sumber daya alam secara efisien dan mengurangi dampak negative bangunan terhadap lingkungan sekitar.
- b. Bangunan harus dapat menyampaikan kontribusi positif pada lingkungan sosial di dalamnya, merancang desain bangunan yang selalu didasarkan sesuai kebutuhan masyarakat dan meningkatkan kualitas lingkungan.

5.2.3 Sustainable Architecture Bidang Energi

a. Konservasi Air

Paola Sassi (2006) pada bukunya *Strategies for Sustainable Architecture* menjelaskan, Untuk menerapkan *Sustainable Architecture* pada bangunan diperlukan potensi alam dengan sumber energy dan teknologi yang tepat. (Sassi, 2006) Dalam penggunaan energi di alam, diperlukan data atau informasi tentang potensi energi nyata yang tersedia dilokasi pemasangan tersebut dan digunakan sesuai kebutuhan di tempat itu. Sebuah studi yang lebih tepat dan evaluasi dari Kedua aspek ini disertai dengan aspek ekonomi yang menghasilkan pemanfaatan yang optimal dari sistem konservasi air.



Gambar V. 1 Peta Potensi Radiasi Matahari Pada Indonesia 2014

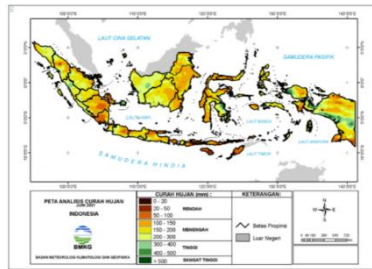
Sumber : P3TKEBTKE Litbang Kementerian ESDM, 2014

Indonesia mempunyai dua iklim yaitu musim kemarau dan penghujan. Siklus pergantian musim ini telah mengalami banyak perubahan waktu dan besarnya. Pada dasarnya bulan musim hujan dan musim kemarau telah berganti. Saat Indonesia semestinya musim kemarau, tetapi ada musim hujan dengan hujan lebat, sedangkan pada

musim hujan terjadi sebaliknya. Dampak peralihan iklim terasa dan siklus bulan dan tahunan berubah di kawasan tertentu. (Hattum & Worm, 2006) menyampaikan bahwa sebagian besar penduduk dunia mengalami kesulitan mengakses air bersih. Sedangkan tujuan LEAD dalam Sustainable Development Goals yakni kemudahan akses air minum, sanitasi, serta pemanfaatan, pengelolaan dan konservasi sumber daya air, termasuk ketersediaan air untuk proses pendidikan di sekolah.

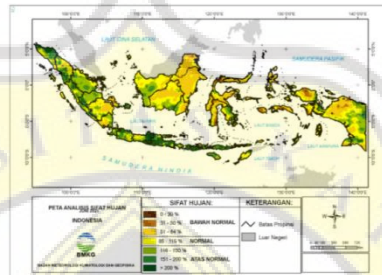
Air adalah kebutuhan pokok yang utama bagi makhluk hidup. Upaya konservasi air melalui perencanaan juga perancangan bangunan sangat diperlukan dalam menghadapi pergantian iklim yang terjadi saat ini. Konservasi air menjadi penting ketika air menjadi elemen utama dalam proses belajar mengajar murid di sekolah dasar alam. Sistem pemanenan air hujan sebagai alternatif teknologi konservasi yang lebih tradisional, mudah serta efektif. Tujuan utamanya yaitu untuk memenuhi kebutuhan air bersih guna operasional sekolah. Untuk mewujudkan pengelolaan sumber daya air (IWRM) secara terpadu selain efisiensi dan pemerataan ekonomi, kelestarian lingkungan merupakan salah satu hal terpenting yang menjelaskan cara pemanfaatan sumber daya air, yang harus dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak mengorbankan sumber daya air. sumber daya, kepentingan generasi mendatang.

Pemanfaatan air hujan mampu dilaksanakan dengan mengumpulkan dan menyimpannya sehingga bisa digunakan kembali, Kegiatan ini disebut pemanenan air hujan. Pengumpulan air hujan menggunakan atap gedung (*rooftop rainwater harvesting*) berprinsip terutama dilakukan dengan menggunakan atap gedung sekolah sebagai *catchment area* dimana air hujan yang jatuh di atap disalurkan melalui talang untuk dihimpun dan ditampung. penyimpanan air hujan Hal ini dapat dilakukan di lubang permukaan tanah atau dengan menggunakan tangki. Pemanfaatan air hujan yang ditampung dapat digunakan untuk berkebun, menyiram taman, menyiram toilet, bahkan dapat dijadikan sebagai air minum setelah dilakukan pengolahan lebih lanjut, yang didasarkan pada baku mutu air minum. Selain itu karena Kota Ungaran memiliki Curah hujan tertinggi berlangsung di bulan Desember 2020 yaitu 7393 mm sehingga cocok jika sekolah alam menggunakan SPAH.



Gambar V. 2 Peta Analisis Curah Hujan Juni 2021

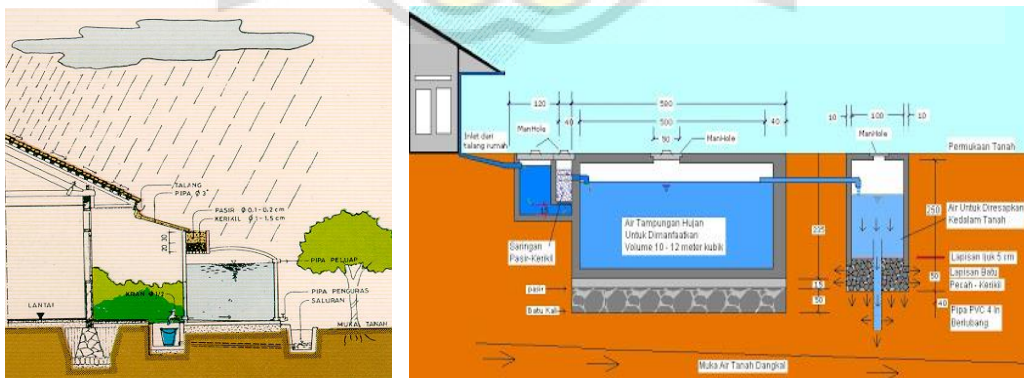
Sumber : <https://www.bmkg.go.id/>



Gambar V. 3 Peta Analisis Sifat Hujan Juni 2021

Sumber : <https://www.bmkg.go.id/>

Dari hasil data diatas dapat disimpulkan bahwa untuk penerapan *Sustainable Architecture* dalam konsep hemat energy dengan menggunakan teknik desain aktif pada bangunan di wilayah Kota Ungaran, lebih sesuai dengan menggunakan energi air dalam bentuk penerapan RWH pada bangunan. Hal ini dikarenakan letak wilayah Kota Ungaran, Kecamatan Ungaran yang termasuk dataran tinggi dan berada di kawasan pinggiran kota dimana cocok dengan penerapan energi air karena Secara hidrologis, kekayaan sumber daya air yang terdapat pada Kab. Semarang berada pada kawasan Kecamatan Ungaran Barat dan berdasarkan data iklim energi surya dan di wilayah Kota Ungaran yang memiliki potensi optimal untuk diterapkan dibanding energi terbarukan lainnya.



Gambar V. 4 Kolam Penampungan Air Hujan

Air hujan dimanfaatkan sebagai sumber efisiensi energy yakni menggunakan prinsip reuse dan recycle pada penggunaan air yaitu dengan menggunakan air hujan kembali yang dikumpulkan pada suatu wadah atau tempat yang kemudian ditampung di kolam penampungan air hujan dengan sistem SPAH yang akhirnya akan digunakan kembali airnya sebagai sumber air di area sekolah alam dan untuk penyiraman tanaman yang ada di area sekolah. Selain itu kolam ini untukantisipasi musim kemarau yang biasanya menyebabkan sumber-sumber air sekitar tapak mengering. Implementasi dari konservasi air yang berimbas pada efisiensi energy air untuk penghematan biaya sekolah.

Cara kerja dari kolam penampungan air hujan ialah air hujan → air hujan jatuh dari atap ditampung melalui talang → air hujan dialirkan melalui pipa dengan diameter 3” kebawah sebelum masuk ke tandon air → air hujan masuk kepenyaringan filtrasi yang berisikan bata, ijuk, arang, pasir, ijuk, kerikil → air masuk kedalam tandon yang dilengkapi saringan debu/pasir halus → kelebihan air hujan dalam tandon akan masuk sauran pipa yang terhubung ke sumur resapan bawah tanah → pipa dilengkapi katup (buka / tutup) untuk mengontrol aliran air agar bisa dibuang keluar → air siap didistribusikan. Implementasi untuk kolam penampungan air hujan ini dapat diletakkan atau dibuat layaknya bak tampung yang ditutup untuk mencegah kotoran masuk dalam bak penampungan air hujan.

b. Pencahayaan dan Penghawaan Alami

Seperti halnya pencahayaan, penghawaan alami meliputi penghawaan alami dan penghawaan buatan. Kenyamanan termal suatu bangunan sangat bergantung pada desain bangunan tersebut, melalui penggunaan ventilasi, ventilasi silang dan pengkondisian udara, dengan begitu kenyamanan termal yang maksimal akan diperoleh. Untuk penghawaan alami pada bangunan akan digunakan kisi-kisi kayu atau bambu dan menjauhi bahan alumunium dan bahan metal.

Sinar matahari di siang hari menembus jauh ke dalam ruang mengurangi jumlah pencahayaan buatan yang dibutuhkan. Beberapa fitur pencahayaan pasif ialah dengan jendela, *skylight*, ventilasi silang atau membuat ruang kelas *outdoor* terbuka (saung), serta pengendalian termal dengan memilih material dengan tingkat penyerapan panas yang

sesuai. Pada area koridor dan ruang-ruang utama diberi banyak bukaan yang dapat mengalirkan udara dengan sempurna.

Lebih dari 40 persen energi yang dikonsumsi dalam suatu ruangan digunakan untuk AC. Penerapan pada bangunan ialah dengan menggunakan tipe bukaan *casement side hung* atau kearah samping, adalah tipe bukaan untuk ventilasi atau penghawaan alami untuk laju udara atau *air flow* dan pergantian udara didalam ruang. Sehingga, paling mendukung perolehan kenyamanan termal didalam ruang kelas.



Gambar V. 5 Ventilasi Udara Pada Bangunan Sekolah Alam Ungaran (Saung)

Sumber : Data Pribadi dan Survey, 2021



Gambar V. 6 Skylight di Ruang Kelas Terbuka

Sumber : Analisis Literatur Greenschool, Bali

c. Implementasi *Sustainable Architecture* pada Bangunan

Maka, untuk penerapan *Sustainable Architecture* ini akan diterapkan melalui desain aktif juga pasif pada bangunan sekolah alam yang didasarkan pada prinsip pertimbangan dari keberlanjutan itu sendiri yaitu :

- Melalui strategi energi yang menggunakan potensi alam sekitar yaitu angin, matahari (pasif)
- Penghawaan alami dengan menerapkan bukaan-bukaan pada ruang edukasi serta ruang khusus di sekolah alam.
- Penerangan alami, ruang kelas dibuat terbuka tanpa dinding massif
- Skylight , pada ruang-ruang yang butuh penerangan lebih seperti perpustakaan, ruang kelas, ruang pengelola, ruang khusus (seni, theater, musik)

- Melalui pemanfaatan potensi sumber daya alam sekitar
 - Material lokal alami, untuk bangunan yang ada pada sekolah alam menggunakan material alam bambu, alang-alang, sirap bambu, batu alam, dan lainnya. Digunakan pada ruang kelas, pengelola, ruang penunjang, hingga ruang servis
 - Ruang Terbuka Hijau yang melimpah, memanfaatkan alam untuk pembelajaran *Action Learning* layaknya area *outbond*, kebun hidroponik, amphitheater, sawah, dan sungai
- Melalui strategi energi yang menggunakan potensi alam sekitar yaitu air hujan (aktif)
 - *Rainwater Harvesting*, digunakannya bak penampungan air hujan di area sekolah ala mini guna merespon curah hujan yang tinggi sehingga air tidak terbuang dan dapat di gunakan kembali

1. **Kenyamanan Termal**

Melalui sistem ventilasi alami yang baik, dimungkinkan untuk mengatur arah serta kecepatan aliran udara, kecepatan udara juga perubahan udara yang terjadi di dalam ruang untuk menghasilkan kenyamanan termal. Agar mencapai kenyamanan termal dalam kondisi iklim yang dapat diukur dalam suatu ruangan, yang ideal adalah memenuhi persyaratan berikut:

- a. Suhu udara $24^{\circ}\text{C} < T < 26^{\circ}\text{C}$
- b. Kelembapan udara ruang $40\% < \text{RH} < 60\%$

Nilai kelembapan udara merupakan indikator besarnya kelembapan hawa atau udara. Semakin banyak uap air di udara, semakin lembab. Ada tiga metode untuk mengukur kelembapan udara, di antaranya adalah :

- Absolute humidity (AH) mengacu pada kuantitas uap air dalam massa udara (g / kg) atau volume udara (g / m³)
- Saturation-point humidity (SH) merupakan banyaknya uap air yang dapat ditahan udara pada suhu atau temperatur tertentu (g / kg, kg / m³, g / m³)
- Relative humidity (RH) adalah pertimbangan AH pada SH yang menunjukkan kemampuan penguapan (%),

$$\text{RH} = (\text{AH per SH}) \times 100 \%$$

RH adalah metode pengukuran kelembapan yang paling banyak digunakan. RH 100% memiliki arti bahwa udara telah mencapai titik jenuhnya dan tidak dapat lagi

mengandung uap air atau tidak akan terjadi kembali proses penguapan. Sehingga sumber uap air di udara, yaitu berasal dari :

- Penguapan air di permukaan (sumber utama)
Contoh : air kolam, danau, sungai, mata air, dan laut.
- Penguapan air tanah
Contoh : air yang terdapat di dalam tanah
- Respirasi (Pernapasan) dan transpirasi (penguapan)
Contoh : air yang terdapat di tumbuhan

Kelembapan udara sangat mempengaruhi hasil kenyamanan termal. Semakin lembab udaranya, semakin sulit keringat menguap maka menghambat pembebasan panas tubuh.

- c. Kecepatan pergerakan angin atau udara $0,6 \text{ m/s} < \text{volume} < 1,5 \text{ m/s}$

Pergerakan atau mobilitas udara disebabkan oleh beberapa hal yakni perbedaan temperatur serta tekanan diferensial. Transfer udara dari area bertekanan lebih dingin atau lebih tinggi ke area bertekanan lebih panas atau lebih rendah (tekanan udara menurun karena ekspansi termal). Berikut adalah contoh pergerakan udara yang terjadi di pesisir akibat perbedaan suhu udara antara darat dan laut di waktu siang serta malam hari.



Gambar V. 7 Pergerakan Udara

Sumber : Buku Fisika Bangunan 1

Arah angin di lokasi dapat diprediksi berdasarkan angin yang berlaku. Sementara kecepatan udara berubah-ubah sepanjang waktu dan dari hasil rata-rata harian, mingguan, hingga bulanan, dapat diketahui kecepatan rata-rata yang terjadi. Arah dan kecepatan inilah yang menjadi acuan untuk menentukan bahwa angin merupakan potensi atau kendala.

Untuk mencapai kenyamanan termal di Indonesia yang beriklim tropis panas lembap, kecepatan udara yang diperlukan adalah 0,6 m/s – 1,5 m/s. Jika lebih cepat dari batas tersebut, maka angin menjadi kendala karena terasa sangat kencang. Di sisi lain, jika kecepatan udara melemah, mendekati 0 m / s. Ini adalah sebuah masalah, sebab makin lambat dan makin udara yang suhu dan kelembabannya lebih tinggi sulit untuk diganti dengan udara yang suhu dan kelembabannya lebih rendah, sehingga semakin sulit untuk memperoleh kenyamanan termal.

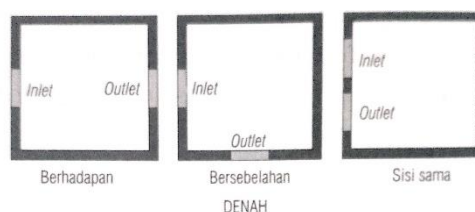
Udara harus bergerak ke arah yang benar dan dengan kecepatan yang cukup untuk memberikan kenyamanan termal. Arah dan kecepatan aliran udara di tempat tersebut dapat dikontrol dengan desain bangunan dan tata letak pabrik, sehingga potensi yang ada dapat dioptimalkan dan sebaliknya jika dapat diantisipasi adanya hambatan. Di daerah tropis yang panas dan lembab, kecepatan udara harus cukup agar udara yang lebih panas dan lembab dapat dengan cepat digantikan oleh udara yang lebih dingin dan kering. Sehingga tubuh bisa mencapai kesetimbangan termal dengan cara menguapkan keringat.

2. Luas Bukaannya atau Ventilasi Udara (*Opening Area*)

Agar udara bersirkulasi dengan benar, dibutuhkan daerah masuk untuk udara. Area ini adalah memiliki nilai rata-rata yang dibutuhkan untuk ventilasi / ventilasi alami dalam suatu ruangan. Metode untuk menghitung luas minimum bukaan pemasukan udara (inlet) di fasad sebuah ruangan adalah:

- a. Bersumber luas ruang dinding fasad 40% -80% luas dinding
- b. Bersumber luas 20% ruangan
- c. Orientasi bukaan

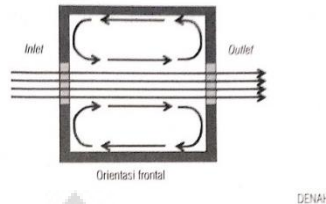
Menggunakan model kamar persegi atau persegi panjang, jika dilihat melalui denah, letak pintu keluar atau outlet serta masuk atau inlet antara lain adalah:



Gambar V. 8 Posisi outlet terhadap inlet

Sumber : Buku Fisika Bangunan 1

- Berhadapan, *outlet* serta *inlet* terletak pada dua bidang dinding dengan posisi berhadapan
- pada sisi yang sama, *outlet* serta *inlet* terletak pada satu bidang dinding yang sama yaitu bersebelahan.



Gambar V. 9 Arah gerak udara, posisi outlet berhadapan dengan inlet

Sumber : Buku Fisika Bangunan 1

Dengan posisi *outlet* berhadapan dengan *inlet*, jika orientasi *inlet* langsung atau frontal terhadap arah pergerakan angin masuk maka udara yang ada didalam ruangan akan bergerak lurus dan langsung saja keluar ruangan melalui *outlet* tanpa pembelokan sedikit pun yang sesuai. Namun, efek ini akan terjadi sebaliknya pada posisi *outlet* yang bersebelahan dengan *inlet*.

a. Tipe dan bentuk bukaan

Bentuk untuk bukaan udara pada bangunan sekolah alam Ungaran (Saung) berupa ventilasi atau jendela dan bangunan tanpa dinding. Hal terpenting untuk memilih bentuk ventilasi merupakan dampak akan arah serta kecepatan udara untuk mendapat kenyamanan termal yang tepat dalam bangunan. Memastikan arah pergerakan atau hembusan didistribusikan secara merata di dalam ruangan. Kecepatan gerak harus cukup, tidak terlalu lemah atau terlalu kuat, dan batas kenyamanan bangunan adalah 1,5 m / s atau m/ det.

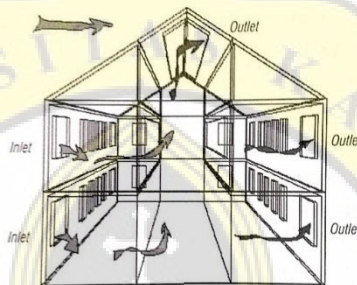
Syarat untuk memilih bentuk bukaan atau ventilasi dari angin dan udara pada fasad yang dapat mendukung kenyamanan termal dalam bangunan antara lain sebagai berikut :

1. Desain bukaan yang fleksibel
Dengan bukaan yang fleksibilitas membuka dan menutup dapat diatur arah, volume, dan kecepatan sirkulasi udara dalam ruangan.
2. Bukaan yang lebar dapat meningkatkan sirkulasi udara

Persyaratan minimum bukaan udara adalah 60% -80% dari luas fasad atau 20% dari luas ruang.

3. Laju Udara (*Air Flow*)

Kecepatan laju udara mengacu pada banyaknya jumlah unit udara (volume atau berat) tiap satuan waktu yang akan melewati sistem ventilasi. Dan agar mendapat kenyamanan termal, sistem ventilasi ruangan di dalam gedung harus memenuhi persyaratan aliran udara minimum. Pada ventilasi alami, mekanisme bukaan meliputi saluran masuk udara (inlet), saluran keluar udara (outlet), dan jalur sirkulasi udara antara saluran masuk dan keluar udara.



Gambar V. 10 Pergerakan Udara Melalui System Ventilasi Udara Pada Bangunan

Sumber : Buku Fisika Bangunan 1

Kebutuhan pada laju udara (*air flow*) ditentukan oleh :

- a. Kegunaan ruang atau bangunan
Terkait kenyamanan termal dalam bangunan, kegiatan yang berlainan akan menciptakan tingkat metabolisme yang berlainan, serta kecepatan laju udara dan kebutuhan perubahan udara per jam (ACH) yang berlainan.
- b. Kerapatan atau kepadatan dari pengguna ruang atau bangunan
Semakin banyak jumlah pengguna gedung atau ruangan tiap satuan luas lantainya maka, akan semakin besar pula kebutuhan aliran udara dan ACH.

Perolehan laju udara ditentukan oleh :

- Luas *Inlet* (A)
Semakin besar luas *Inlet* maka perolehan *air flow* atau laju udara semakin tinggi
- Besar kecepatan udara (v)
Semakin tinggi kecepatan udara yang melewati sistem ventilasi maka perolehan laju udara semakin tinggi atau meningkat.

$$Q = 50 A v$$

Keterangan :

Q = laju udara dalam tiap satuan cfm (*cubic feet per minute* / kaki kubik pada tiap menit)

A = *Area*, Luas bukaan atau luas *inlet* dalam satuan ft²

v = *velocity*, besaran kecepatan gerak udara dalam mph

$$1 \text{ ft}^2 = 0,09290304 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ mile} = 1.609,344 \text{ m}^2$$

Maka pada laju udara (*air flow*) harus memenuhi syarat minimal sesuai kerapatan dan aktifitas pengguna bangunan agar sistem ventilasi ruang atau bangunan dapat optimal dalam menghasilkan kenyamanan termal.

Pada suhu 22°C – 30°C dan kelembapan 40 – 60%, saat pertukaran antara udara yang bersih di pengguna ruang $\pm 33\text{m}^3$ / orang/ jam. Pada suhu di dalam ruang 30°C dan suhu di luar 26°C sehingga, udara bersih seharusnya di tukar sebanyak 40 m³ / orang / jam.

Konstruksi bukaan yang baik memiliki standar berukuran maksimal 80 cm dari plafon, tinggi bukaan minimal berukuran 80 cm dari lantai lalu jarak ventilasi minimum 30 cm dari plafon.

Waktu pergantian udara pada ruang dalam berkorelasi secara positif melalui volume ruang dan berkorelasi negatif pada luas bukaan, perbedaan suhu indoor-outdoor dan tinggi ventilasi. Secara matematis, waktu pergantian udara dapat dirumuskan :

$$T = \frac{1,2.V}{F\sqrt{(t_1 - t_2)H}}$$

Keterangan :

T : waktu pergantian udara (menit)

V : volume ruang (m³)

F : luas ventilasi (m²)

H : tinggi ventilasi dari lantai (m)

t₁ : suhu kamar (°C)

t₂ : suhu luar ruangan (°C)

4. Pergantian Udara Per Jam (*Air Changes Per Hour*)

Pergantian Udara Per Jam (*Air Changes Per Hour*) merupakan banyaknya Perubahan udara dalam sejam di dalam suatu ruangan.

Kebutuhan perubahan udara atau angin didalam suatu ruang dapat didapatkan melalui:

- a. Kegunaan ruang atau di bangunan
Berhubungan dengan kenyamanan termal kegiatan yang berlainan dapat menghasilkan laju metabolisme yang berlainan pula, serta kebutuhan dari laju ACH dan laju udara berlainan.
- b. Kerapatan dan kepadatan pengguna dalam ruang atau bangunan
Semakin besar dan tinggi kapasitas pengguna bangunan tiap satuan luas lantai semakin tinggi pula kebutuhan kecepatan udara dan ACH.
- c. Kelembapan serta temperature atau suhu udara
Semakin besar dan tinggi kelembapan serta temperature sehingga kebutuhan dari ACH akan semakin meninggi dan meningkat
- d. Polutan
Semakin tinggi polutan pada udara yang terjadi maka, akan meninggi juga kebutuhan ACHnya.
Perolehan pergantian udara dapat ditentukan oleh :
 - Laju Udara
Semakin tinggi kecepatan laju udara, perolehan penguatan ACH semakin tinggi
 - Volume ruang
Semakin besar volume ruang yang ada maka, perolehan ACH akan semakin rendah.

$$N = 60 Q/V$$

Keterangan :

Q = laju udara dalam setiap cfm (*cubic feet per minute* / kaki kubik pada tiap menit)

N= jumlah *air changes per hour*

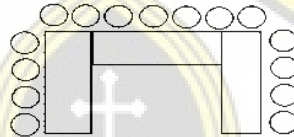
V = besar volume ruang dalam ft³

5.3 Landasan Teori untuk Memecahkan Masalah 3

Permasalahan ketiga berhubungan dengan menciptakan sebuah ruang sebagai sarana edukasi terkait sekolah dasar alam dengan penataan tata ruang dalam sehingga tetap berkesan menarik dan dapat menunjang kegiatan pembelajaran di ruang-ruang khusus. Formasi penataan kursi dan meja siswa dan pengajar perlu dipikirkan. Agar kegiatan pembelajaran dapat ditunjang dengan baik, tanpa mengurangi keaktifan dari peserta didik. Area lingkungan ruang kelas jarang sekali yang ideal. Formasi kelas yang sesuai dengan usia anak sekolah dasar ialah sebagai berikut :

1. Formasi Tatanan U

Pada formasi tatanan ini peserta didik akan lebih aktif dan tertarik pada pembelajaran. Karena guru dapat bergerak kesegala arah menjelaskan pembelajaran dan dapat berinteraksi langsung dengan peserta didik dan peserta didik dapat melihat antar temannya.

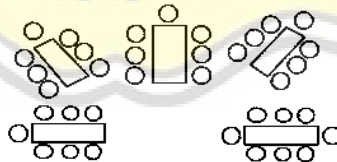


Gambar V. 11 Formasi Tatanan U

Sumber : Hamid, 2011

2. Formasi Tatanan Bentuk Setengah Lingkaran

Pada formasi ini peserta didik biasanya dibuat berkelompok, meja-meja ditata membentuk setengah lingkaran. Berguna untuk membuat peserta didik melakukan kegiatan diskusi antar teman lainnya atau teman satu kelompok suasana yang akan ditimbulkan adalah akrab. Ruang kosong ditengah digunakan pengajar untuk berinteraksi dengan peserta didik.

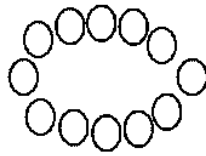


Gambar V. 12 Formasi Tatanan Bentuk Setengah Lingkaran

Sumber : Hamid, 2011

3. Formasi Tatanan Bentuk Lingkaran

Pada formasi tatanan ini membentuk lingkaran meja-meja ditata membentuk lingkaran memungkinkan para peserta didik untuk berdiskusi bersama dalam lingkup jumlah besar.



Gambar V. 13 Formasi Tatanan Bentuk Lingkaran

Sumber : Hamid, 2011

4. Formasi Penataan Ruang Luar

Pada formasi tatanan ini memanfaatkan alam dan sekitarnya. Sebab, karena pembelajaran *Action Learning* dan dikatakan 70% aktivitas dilakukan pada ruang luar maka untuk mengakomodasi kebutuhan ruang luar yang disesuaikan dengan aktivitas yang ada maka dapat diwujudkan dengan penataan lansekap luar yang disesuaikan dengan potensi yang ada pada tapak yaitu seperti pohon yang dapat berkontribusi sebagai peneduh, atap, bambu yang dirangkai menjadi sebuah wadah edukasi luar ruangan atau dapat juga berbentuk pergola atau lainnya. Yang dikombinasikan dengan tanaman rambat dolar yang memiliki manfaat sebagai penyerap karbondioksida yang baik sehingga sangat baik untuk sirkulasi udara di lingkungan tersebut.



Gambar V. 14 Formasi Tatanan Bentuk Ruang Pembelajaran Luar Bangunan

Sumber : SOU (School of Universe)

Pergola-pergola ini dikombinasikan dengan tanaman rambat dan akan dijadikan wadah pendukung untuk memfasilitasi *Action Learning* seperti pembelajaran kewirausahaan yang fokusnya pada kegiatan praktek *market day* yang nantinya siswa dapat belajar memproduksi sesuatu dari alam selain memanfaatkan kebun yang ada. Juga pembelajaran lain yang memanfaatkan alam sekitar. Material yang digunakan adalah bambu karena selain ekonomis juga dari segi *maintenance* sederhana tidak rumit dan jika rusak mudah diganti dan dapat didaur ulang sehingga dapat dikatakan *sustainable*.