

MODUL WORKSHOP

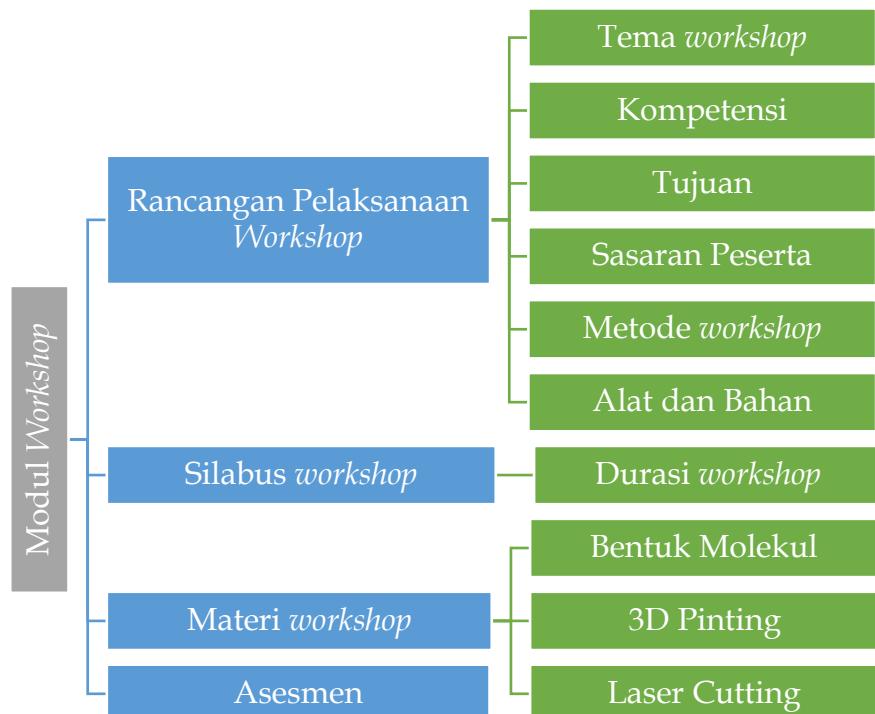
PEMBUATAN KIT BENTUK MOLEKUL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTING DAN LASER CUTTING

Rosyidah Syafaatur Rohmah
Asep Kadarohman
Triannisa Rahmawati
Miarti Khikmatun Nais
Rosi Oktiani
Qonita Mu'minah
Febriati Dian Mubarokah



MODUL WORKSHOP

PEMBUATAN KIT BENTUK MOLEKUL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTING DAN LASER CUTTING



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Modul Workshop **Pembuatan Kit Bentuk Molekul Menggunakan 3D Printing dan Laser Cutting** dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Modul ini diharapkan dapat menjadi alat bantu yang memudahkan para peserta workshop dalam mengikuti kegiatan yang diselenggarakan oleh FabLab Edu.

Workshop dirancang untuk memberikan pengalaman praktis kepada peserta dalam memanfaatkan teknologi 3D printing dan laser cutting. Penggunaan teknologi ini bertujuan untuk menghasilkan kit model molekul yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran interaktif dan inovatif. Dengan pengembangan keterampilan ini, diharapkan peserta mampu memahami konsep-konsep kimia dengan lebih baik melalui visualisasi yang konkret.

Modul ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. **Rancangan Pelaksanaan Workshop**, yang memuat tujuan pembelajaran, kompetensi yang diharapkan, serta materi yang akan dibahas
2. **Silabus Workshop**, yang menjelaskan jadwal kegiatan dan langkah-langkah pelaksanaan workshop.
3. **Materi Workshop**, yang berisi panduan teknis dan teori terkait penggunaan 3D printing dan laser cutting dalam pembuatan kit bentuk molekul.
4. **Asesmen**, yang berfungsi untuk mengevaluasi pemahaman peserta terhadap materi yang disampaikan selama workshop.

Kami berharap modul ini dapat memberikan manfaat optimal bagi para peserta workshop dalam memahami dan mengaplikasikan teknologi 3D printing dan laser cutting untuk mendukung pembelajaran kimia. Semoga kegiatan workshop ini berjalan dengan lancar dan memberikan kontribusi nyata bagi peningkatan kualitas pendidikan. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan pelaksanaan workshop ini.

Semoga modul ini bermanfaat dan membawa keberkahan bagi kita semua.

Tim Fablab Edu

ACKNOWLEDGEMENT

Tim penulis berterima kasih atas dukungan yang diberikan Universitas Pendidikan Indonesia atas penyediaan ruangan Fabrication Laboratory (Fablab) serta kolaborator kami dalam bentuk konsorsium dengan Leading University Project for International Cooperation (LUPIC), Sogang University, melalui the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (MOE), Korea (NRF-2023H1A7A2A02000090), dimana LUPIC/Sogang University telah memberikan bantuan penyediaan alat Fablab berupa laser cutter, 3D printer, 3D scanner, UV printer, UV DTF, cutting machine, dan peralatan pendukung lainnya dengan total hampir mencapai Rp. 800.000.000 rupiah.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	2
Acknowledgment	3
DAFTAR ISI	4
DAFTAR TABEL.....	5
DAFTAR GAMBAR.....	6
RANCANGAN PELAKSANAAN WORKSHOP.....	8
A. Tema Workshop	8
B. Kompetensi	8
C. Tujuan Workshop	10
D. Sasaran Peserta Workshop.....	10
E. Metode Workshop	11
F. Alat dan Bahan	13
SILABUS WORKSHOP	14
<i>The Workshop Schedule</i>	16
ANGKET AWAL.....	18
EPISODE 1.....	20
LET'S LEARN ABOUT MOLECULES!- MENGENAL IKATAN KIMIA DAN BENTUK MOLEKUL	21
EPISODE 2.....	27
LET'S BUILD THE MOLECULE! – MERANCANG KIT BENTUK MOLEKUL	28
EPISODE 3.....	31
DESIGNING A MOLECULE KIT - MENDESAIN BENTUK MOLEKUL DENGAN TINKERCAD	32
EPISODE 4.....	47
OBJECTS FROM NOTHING – MENGENAL 3D PRINTING DAN LASER CUTTING....	48
EPISODE 5.....	54
THE MOLECULE IS NOT ABSTRACT ANYMORE - PEMBUATAN KIT BENTUK MOLEKUL	55
EPISODE 6.....	61
THE MOLECULE KIT IS HERE – MEMPRESENTASIKAN KIT YANG TELAH DIBUAT	62
ANGKET AKHIR.....	63
ASESMEN	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sudut Ikatan, Panjang Ikatan, dan Kepolaran Beberapa Molekul.....	24
Tabel 2. Bentuk Molekul dengan Rumus Umum AX_mE_n	24
Tabel 3. Bentuk Molekul beberapa Senyawa Kovalen	26
Tabel 4. Rancangan Kit Bentuk Molekul	29
Tabel 5. Perbandingan antara Filamen dengan Resin	57
Tabel 6. Hasil 3D Printing dan Laser Cutting.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi Ikatan Kimia.....	21
Gambar 2. Kisi Kubus Berpusat Muka dari NaCl (Effendy, 2008a)	22
Gambar 3. Susunan Kubus Berpusat Badan (Callister & Rethwisch, 2018)	22
Gambar 4. Bentuk Molekul dengan BK 2-6 (Silberberg & Amateis, 2015)	25
Gambar 5. Tampilan Laman Awal Tinkercad	32
Gambar 6. Tampilan Laman Sign Up pada Tinkercad.....	33
Gambar 7. Tampilan Laman Dashboard pada Tinkercad.....	33
Gambar 8. Tampilan Laman 3D Design	34
Gambar 9. Switch to Orthographic View	34
Gambar 10. Tarik Gambar Bola ke bagian Top View	34
Gambar 11. Mengubah Ukuran Dimensi Bola.....	35
Gambar 12. Tarik Gambar Silinder	35
Gambar 13. Mengubah Dimensi Silinder	35
Gambar 14. Mengubah Diemensi dari Front View	36
Gambar 15. Applying Transparent Material.....	36
Gambar 16. Mengubah Dimensi Menjadi 3 mm x 3mm	36
Gambar 17. Menyejajarkan Silinder	37
Gambar 18. Copy and Paste Cylinders	37
Gambar 19. Menyejajarkan Silinder di front view	37
Gambar 20. Grouping Object.....	38
Gambar 21. Menyejajarkan Objek dari Front View	38
Gambar 22. Copy and Paste	38
Gambar 23. Rotasi dengan Sudut 109,5	39
Gambar 24. Drag and Rotate	39
Gambar 25. Duplikasi Objek	39
Gambar 26. Mengatur Objek di Bagian Pusat.....	40
Gambar 27. Sembunyikan Objek	40

Gambar 28. Ungrouping Objects.....	40
Gambar 29. Memilih Silinder Panjang untuk Dihapus	41
Gambar 30. Menampilkan Semua Objek.....	41
Gambar 31. Groouping Objects.....	41
Gambar 32. Hasil Akhir untuk Bola Atom.....	42
Gambar 33. Menambahkan Bola di Top View	42
Gambar 34. Group Objects.....	42
Gambar 35. Drag and Drop Cylinders.....	43
Gambar 36. Dimensions in Right View.....	43
Gambar 37.Mengatur Tinggi di 50 mm	44
Gambar 38. Mengatur Dimensi 3 mm di Top View.....	44
Gambar 39. Menyejajarka Silinder untuk Ikatan Penghubung.....	44
Gambar 40. Copy Paste Ikatan silinder	45
Gambar 41. Mengatur Ketinggian Silinder pada 41 mm	45
Gambar 42. Hasil Akhir	46
Gambar 43. Hasil Akhir dilihat dari Samping.....	46
Gambar 44. Resin 3D Printer	49
Gambar 45. Filamen 3D Printer	49
Gambar 46. CNC LS 6040 - Laser CO ₂ - Mesin Cutting dan Grafir	51
Gambar 47. Filamen.....	55
Gambar 48. Resin	57
Gambar 49. Mesin 3D Printer - Flashforge Adventurer 3	59

RANCANGAN PELAKSANAAN WORKSHOP

A. Tema Workshop

Pembuatan Kit Bentuk Molekul Menggunakan Teknologi 3D Printing dan Laser Cutting

B. Kompetensi

Kompetensi adalah keterampilan yang terkait dengan kemampuan seseorang menghadapi dan menangani tantangan kompleks yang ada di hadapannya. Dengan mengikuti *workshop* pembuatan kit bentuk molekul dapat meningkatkan pemahaman peserta terkait bentuk molekul. Selain pemahaman konseptual, ada kompetensi lain yang dibutuhkan peserta seperti kreativitas, kolaborasi, dll.

Kompetensi yang dikembangkan selama *workshop* sebagai berikut.

1. Kompetensi abad ke-21

a. Berpikir kritis (*Critical thinking*)

Berpikir kritis (*critical thinking*) adalah kemampuan untuk menganalisis informasi dan argumen, mengevaluasi bukti, dan membuat keputusan yang logis (Arsanti et al., 2021). Peserta dilatih untuk mengevaluasi desain molekul yang mereka buat, mempertimbangkan berbagai pendekatan dan konsekuensi dari setiap pilihan.

b. Kreativitas (*Creativity*)

Kreativitas (*creativity*) merupakan kemampuan untuk menghasilkan ide-ide baru dan inovatif serta menerapkannya dalam praktik (Arsanti et al., 2021). Dalam proses desain, peserta didorong untuk berpikir di luar batasan konvensional dan menciptakan model yang unik dan menarik.

c. Kolaborasi (*Collaboration*)

Kolaborasi (*collaboration*) adalah kemampuan untuk bekerja dengan orang lain mencapai tujuan bersama (Arsanti et al., 2021). Peserta bekerja dalam

kelompok, belajar untuk saling mendukung, berbagi ide, dan menyelesaikan proyek secara tim.

d. **Komunikasi (*Communication*)**

Komunikasi (*communication*) merupakan kemampuan untuk menyampaikan informasi dengan jelas dan efektif (Arsanti et al., 2021). Melalui presentasi proyek, peserta belajar menyampaikan ide dan hasil desain mereka kepada audiens dengan cara yang menarik dan informatif.

2. Literasi Digital (*Digital Literacy*)

Literasi digital adalah kemampuan untuk menggunakan teknologi digital dan memahami informasi yang disampaikan melalui media digital (Buda et al., 2023) Peserta belajar menggunakan perangkat lunak desain 3D dan alat pemotongan laser, serta memahami cara mencari dan mengevaluasi informasi secara online.

3. Kompetensi Global (*Global Competence*)

a. **Pemecahan masalah kompleks (*Complex problem-solving*)**

Complex problem-solving merupakan kemampuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menyelesaikan masalah yang rumit (PISA, 2018). Peserta menghadapi tantangan dalam desain dan produksi, mendorong mereka untuk menggunakan pendekatan sistematis dalam menemukan solusi.

b. **Berpikiran terbuka dan toleransi (*open-mindedness and tolerance*)**

Open-mindedness and tolerance adalah kemampuan untuk menghargai perspektif dan budaya yang berbeda (PISA, 2018). Diskusi kelompok tentang desain dan ide-ide memungkinkan peserta untuk memahami dan menghargai pandangan yang berbeda.

c. **Keberlanjutan (*Sustainability*)**

Sustainability merupakan pemahaman tentang pentingnya keberlanjutan dalam praktik dan produk (PISA, 2018). Peserta belajar tentang penggunaan

bahan yang ramah lingkungan dalam 3D printing dan dampak teknologi terhadap lingkungan

4. Keterampilan Teknis (*Technical skills*)

a. *3D printing and design*

Kemampuan untuk merancang dan memproduksi objek menggunakan teknologi pencetakan 3D (Buda et al., 2023). Peserta belajar menggunakan perangkat lunak desain 3D untuk membuat model molekul, serta memahami proses pencetakan 3D dari awal hingga akhir.

b. *Laser cutting*

Kemampuan untuk menggunakan mesin laser untuk memotong dan mengukir berbagai bahan (Buda et al., 2023). Peserta mempelajari cara mengoperasikan laser cutter, termasuk pengaturan mesin, desain untuk pemotongan, dan teknik finishing.

C. Tujuan Workshop

Tujuan *workshop* adalah peserta dapat:

1. Menganalisis konsep Ikatan Kimia dan Bentuk Molekul
2. Mengembangkan keterampilan desain 3D dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) Tinkercad untuk membuat model molekul yang akurat
3. Mengoperasikan 3D Printer dan mesin Laser Cutter
4. Menciptakan kit pembelajaran yang interaktif untuk mengajarkan konsep-konsep kimia dengan cara yang menarik.
5. Meningkatkan keterampilan kolaborasi dan komunikasi

D. Sasaran Peserta Workshop

Sasaran peserta *workshop* adalah:

1. Mahasiswa terutama program studi Pendidikan kimia dan kimia yang sudah menempuh mata kuliah Kimia Anorganik

2. Guru Kimia SMA terutama yang mengajar materi ikatan kimia dan bentuk molekul
3. Siswa SMA terutama jurusan IPA yang mempelajari ikatan kimia dan bentuk molekul

E. Metode Workshop

Metode *workshop* yang digunakan adalah *Project-Based Learning (PjBL)*. Metode *Project-Based Learning* dipilih karena dapat menghubungkan teori dengan praktik, peserta terlibat langsung dalam proses belajar sehingga meningkatkan motivasi dan minat belajar, meningkatkan keterampilan kolaborasi karena harus bekerja dalam kelompok, meningkatkan keterampilan teknis. Langkah-langkah *Project-Based Learning* yang digunakan dalam *workshop* sebagai berikut.

1. Identifikasi Tujuan Pembelajaran

- Menentukan tujuan spesifik yang ingin dicapai selama *workshop*, seperti pemahaman tentang bentuk molekul, keterampilan desain 3D, dan penggunaan teknologi.

2. Pengantar Proyek

- Deskripsi Proyek: Memberikan penjelasan mengenai proyek yang akan dikerjakan, termasuk konteks dan relevansinya dalam pembelajaran kimia.
- Pembagian Kelompok: Membagi peserta menjadi kelompok kecil untuk memfasilitasi kolaborasi.

3. Penyelidikan Awal

- Diskusi: Mengajak peserta untuk mendiskusikan ide-ide awal dan pertanyaan yang berkaitan dengan proyek.
- Sumber Daya: Memberikan akses ke bahan bacaan, video, atau sumber daya lainnya yang relevan untuk membantu peserta memahami konsep.

4. Perencanaan Proyek

- Rencana Kerja: Setiap kelompok merumuskan rencana kerja yang mencakup pembagian tugas, timeline, dan sumber daya yang dibutuhkan.

- Desain Model: Peserta mulai merancang model molekul menggunakan perangkat lunak desain 3D.

5. Pengembangan dan Prototyping

- Pembuatan Model 3D: Peserta menggunakan teknologi 3D printing untuk mencetak model molekul dari desain yang telah dibuat.
- Penggunaan Laser Cutting: Jika perlu, peserta juga dapat menggunakan mesin laser cutter untuk membuat bagian-bagian dari kit.

6. Uji Coba dan Evaluasi

- Uji Coba Kit: Setiap kelompok menguji kit yang telah dibuat, memastikan semua komponen berfungsi seperti yang diharapkan.
- Evaluasi Diri: Peserta melakukan evaluasi diri dan kelompok mengenai proses dan hasil proyek.

7. Presentasi Hasil

- Presentasi: Setiap kelompok mempresentasikan proyek mereka, menjelaskan desain, proses, dan bagaimana kit tersebut dapat digunakan untuk mengajarkan konsep kimia.
- Umpan Balik: Memberikan umpan balik konstruktif dari peserta lain dan instruktur.

8. Refleksi

- Diskusi Kelas: Mengajak peserta untuk mendiskusikan apa yang telah mereka pelajari selama proses, tantangan yang dihadapi, dan bagaimana mereka menyelesaiannya.
- Refleksi Tertulis: Meminta peserta untuk menulis refleksi tentang pengalaman mereka, keterampilan yang diperoleh, dan aplikasi di masa depan.

9. Penutup

- Kesimpulan: Merangkum hasil workshop dan pentingnya keterampilan yang telah dipelajari.

- Tindak Lanjut: Mendiskusikan langkah selanjutnya, seperti bagaimana peserta dapat menerapkan keterampilan dalam konteks lain atau proyek lanjutan di masa depan.

F. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan saat *workshop* sebagai berikut.

1. Perangkat Lunak Desain 3D:

Tinkercad atau Fusion 360.

2. 3D Printer:

Printer 3D yang mendukung filament PLA atau ABS.

3. Laser Cutter:

Mesin laser cutter untuk memotong dan mengukir bahan akrilik.

4. Alat Tulis:

Kertas, pensil, dan spidol untuk sketsa desain.

5. Laptop/Komputer:

Untuk mengoperasikan perangkat lunak desain.

Bahan yang diperlukan saat *workshop* sebagai berikut.

1. Filament PLA/ABS untuk 3D printing.

2. Lem akrilik untuk rakitan model.

3. Bahan akrilik untuk laser cutting.

SILABUS WORKSHOP

Durasi Pelatihan: 2 hari (Total 32 JP)

No.	Kegiatan	Estimasi Waktu
1.	Pendalaman Materi Ikatan Molekul	4 JP
2.	Perancangan Kit Bentuk Molekul	4 JP
3.	Pendalaman Materi Desain 3D Menggunakan Tinkercad	4 JP
4.	Tugas Mandiri: Pembuatan Desain 3D Bentuk Molekul	8 JP
5.	Pendalaman Materi 3D Printing dan Laser Cutting	4 JP
6.	3D Printing Kit Bentuk Molekul	4 JP
7.	Presentasi Kit Bentuk Molekul	4 JP
Total		32 JP

Rundown Kegiatan

Hari 1

- **Sesi 1:** Pengenalan Ikatan Kimia dan Bentuk Molekul (4 JP)
 - ✓ Teori tentang jenis-jenis ikatan kimia dan bentuk molekul.
 - ✓ Diskusi tentang pentingnya pemahaman bentuk molekul dalam reaksi kimia.
- **Sesi 2:** Identifikasi Proyek (4 JP)
 - ✓ Peserta membentuk kelompok dan memilih jenis ikatan dan molekul yang akan diwakili dalam kit.
 - ✓ Pembentukan rencana awal untuk desain kit.
- **Sesi 3:** Desain Kit Ikatan Kimia (4 JP)
 - ✓ Peserta mempelajari desain 3D menggunakan Tinkercad
 - ✓ Kelompok mendesain komponen kit berdasarkan konsep yang dipilih.

- **Sesi 4:** Tugas Mandiri (6 JP)
 - ✓ Peserta mendesain komponen kit bentuk molekul secara mandiri di rumah
 - ✓ Peserta bisa konsultasi secara online via zoom meeting atau google meet

Hari 2

- **Sesi 5:** Tugas Mandiri (2 JP)
 - ✓ Peserta melanjutkan desain kit bentuk molekul dengan Tinkercad
- **Sesi 6:** Pengenalan 3D Printing dan Laser Cutting (4 JP)
 - ✓ Penjelasan tentang teknologi 3D printing dan laser cutting.
 - ✓ Demonstrasi penggunaan perangkat lunak desain 3D.
- **Sesi 7:** Pembuatan Kit Bentuk Molekul (4 JP)
 - ✓ Mencetak dan memotong bagian kit menggunakan 3D printer dan laser cutter.
 - ✓ Merakit kit ikatan kimia sesuai dengan desain.
- **Sesi 8:** Presentasi dan Umpam Balik (4 JP)
 - ✓ Setiap kelompok mempresentasikan kit yang telah dibuat.
 - ✓ Diskusi dan evaluasi dari instruktur dan peserta lain tentang efektivitas kit.

THE WORKSHOP SCHEDULE

Episode 1

Let's learn about molecules! – Mengenal ikatan kimia dan bentuk molekul.

Episode ini mengenalkan peserta dengan ikatan kimia dan bentuk molekul. Peserta mendiskusikan pentingnya pemahaman bentuk molekul dalam pembelajaran kimia, cara mengajarkan bentuk molekul agar mudah dipahami.

Episode 2

Let's build the molecule! – Merancang kit bentuk molekul.

Peserta membentuk kelompok untuk merancang kit bentuk molekul. Kit dibuat untuk memudahkan pengajaran bentuk molekul. Peserta mendiskusikan desain kit bentuk molekul yang akan dibuat.

Episode 3

Designing a molecule kit – Mendesain bentuk molekul dengan Tinkercad.

Peserta mempelajari hal baru yaitu Tinkercad untuk mendesain objek 3D. Setelah mempelajari cara menggunakan Tinkercad, peserta dapat mendesain sendiri bentuk molekul yang diinginkan.

Episode 4

Objects from nothing – Mengenal 3D Printing dan *Laser Cutting*.

Peserta mempelajari 3D printing dan cara menggunakannya. Peserta mengenal berbagai macam alat 3D printer dan bahan yang digunakan untuk mencetak objek 3D. Peserta mempelajari cara penggunaan *laser cutting* untuk memotong bahan.

Episode 5

The molecule is not abstract anymore – Pembuatan kit bentuk molekul

Peserta mencetak desain molekul dengan 3D printer. Peserta bisa mencetak desain yang sudah ada atau membuat sendiri desain molekulnya. Peserta menggunakan *laser cutter* untuk memotong bahan yang diperlukan. Peserta menguji kit bentuk molekul yang dibuat.

Episode 6

The molecule kit is here – Mempresentasikan kit yang telah dibuat.

Peserta mempresentasikan kit bentuk molekul yang dibuat oleh kelompoknya. Masing-masing kelompok menjelaskan kit yang dibuat, dan kelompok lain menanggapi dan memberi masukan.

ANGKET AWAL

Angket awal digunakan untuk mengetahui persepsi awal peserta terkait ikatan kimia dan bentuk molekul serta *3D printing* dan *laser cutting*. Peserta diharapkan mengisi angket sebelum mengikuti *workshop*. Untuk mengisi angket, silakan scan QR code berikut atau kunjungi link yang diberikan



<https://bit.ly/AngketAwalWorkshopFablab>

Peserta juga bisa mengisi angket secara manual dengan menjawab pertanyaan berikut.

Nama : _____

Email : _____

No HP : _____

Status : Guru / Mahasiswa / Siswa

Asal Instansi : _____

Berilah tanda ceklis (✓) pada salah satu jawaban yang paling sesuai menurut Anda, yaitu:

Angka 5 berarti: Sangat setuju

Angka 4 berarti: Setuju

Angka 3 berarti: Kurang setuju

Angka 2 berarti: Tidak setuju

Angka 1 berarti: Sangat tidak setuju

No.	Pertanyaan	Skor Penilaian				
		1	2	3	4	5
1.	Saya memahami materi ikatan kimia dan bentuk molekul dengan baik					

No.	Pertanyaan	Skor Penilaian				
		1	2	3	4	5
2.	Saya pernah menggunakan kit bentuk molekul dalam pembelajaran					
3.	Kit bentuk molekul diperlukan untuk membantu memahami materi ikatan kimia dan bentuk molekul					
4.	Saya pernah membuat kit pembelajaran bentuk molekul					
5.	Saya mengenal teknologi <i>3D printing</i> dengan baik					
6.	Saya pernah menggunakan alat <i>3D printer</i>					
7.	Saya mengenal teknologi <i>laser cutting</i>					
8.	Saya pernah menggunakan <i>laser cutter</i>					
9.	Saya memiliki kemampuan berpikir kritis					
10.	Saya adalah orang yang kreatif					
11.	Saya dapat bekerja dalam kelompok dengan baik					
12.	Saya dapat berkomunikasi dengan baik					
13.	Saya mampu menggunakan teknologi digital dengan baik					
14.	Saya dapat memecahkan masalah kompleks dengan baik					
15.	Saya adalah orang yang berpikiran terbuka dan toleran					
16.	Saya memahami tentang pentingnya keberlanjutan (<i>Sustainability</i>) dalam aspek pendidikan dan lingkungan					
17.	Saya mampu mendesain 3D dengan baik					
18.	Saya terampil menggunakan <i>3D printing</i>					
19.	Saya terampil menggunakan <i>laser cutter</i>					
20.	Saya antusiasi mengikuti <i>workshop Fablab</i>					

EPISODE 1

Kompetensi yang dikembangkan

- Berpikir kritis (*Critical thinking*)
- Kreativitas (*Creativity*)
- Kolaborasi (*collaboration*)
- Komunikasi (*communication*)
- Pemecahan masalah kompleks (*Complex problem-solving*)

Tujuan

- Menganalisis konsep Ikatan Kimia dan Bentuk Molekul

Pada episode pertama, peserta diberikan penjelasan tentang ikatan kimia dan bentuk molekul. Peserta diharapkan memahami pentingnya bentuk molekul dalam pembelajaran kimia. Peserta mendiskusikan cara mengajar bentuk molekul agar lebih mudah dipahami.

LET'S LEARN ABOUT MOLECULES!

- MENGENAL IKATAN KIMIA DAN BENTUK MOLEKUL

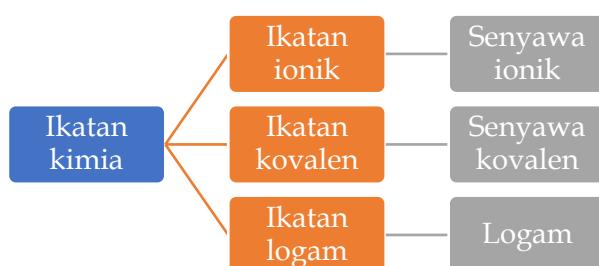
Pendahuluan

Pada pertemuan pertama dimulai dengan penjelasan tujuan *workshop* yaitu membuat kit bentuk molekul dengan menggunakan *3D Printing* dan *Laser Cutting*. Peserta akan menggambar bentuk molekul dalam 2 dimensi, kemudian 3 dimensi menggunakan *3D printer*. Peserta akan berkelompok untuk mendesain dan mencetak kit bentuk molekul. Sebelum membentuk kelompok, peserta harus saling mengenal satu sama lain terlebih dulu. Peserta duduk secara melingkar agar dapat melihat satu sama lain dengan jelas. Setelah semua peserta selesai memperkenalkan diri, maka *workshop* dimulai.

Inti

Ikatan Kimia dan Bentuk Molekul

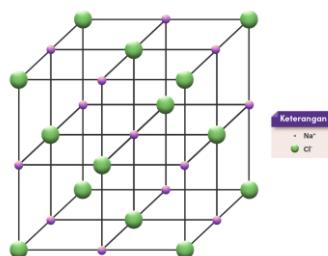
Ikatan kimia didefinisikan sebagai gaya yang menyebabkan sekumpulan atom yang sama atau berbeda menjadi satu kesatuan dengan perilaku yang sama. Ikatan kimia terjadi karena sekelompok atom yang menunjukkan perilaku sebagai satu kesatuan tersebut lebih stabil atau memiliki tingkat energi yang lebih rendah daripada tingkat energi atom-atomnya dalam keadaan terpisah. Ikatan kimia dikelompokkan menjadi 3, yaitu ikatan ionic, ikatan kovalen, dan ikatan logam. Klasifikasi ikatan kimia ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi Ikatan Kimia

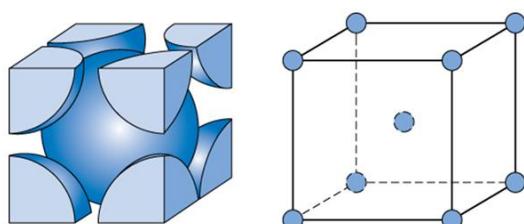
Ikatan ionik terjadi pada senyawa-senyawa ionic, misalnya NaCl, MgO. Ikatan kovalen terjadi pada molekul-molekul kovalen seperti H₂O, CO₂. Ikatan logam terjadi pada logam, misalnya logam Au, Ag, Cu.

Senyawa ionic tersusun atas pasangan ion, yaitu kation dan anion. Kation dan anion tersusun dalam kisi kristal. Kristal senyawa ionic terdiri dari kation-kation dan anion-anion yang tersusun secara teratur, bergantian, dan berulang (periodic). Kisi kristal senyawa ionic ada beberapa macam. Enam diantaranya, yang merupakan kisi kristal senyawa ionic yang penting, adalah kisi kristal natrium klorida (NaCl), sesium klorida (CsCl), zink sulfida (ZnS), fluorit (CaF₂), rutil (TiO₂), dan perovskite (SrTiO₃). Kisi kristal NaCl adalah kubus berpusat muka (*face centered cubic*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kisi Kubus Berpusat Muka dari NaCl (Effendy, 2008a)

Sama seperti kation dan anion dalam senyawa ionic yang membentuk kisi kristal, atom-atom logam juga membentuk kristal logam. Susunan atom-atom dalam kristal logam dapat membentuk susunan rapat heksagonal, susunan rapat kubus, susunan gabungan dari susunan rapat heksagonal dan susunan rapat kubus, susunan kubus berpusat badan, susunan kubus sederhana, susunan rhombohedral (Effendy, 2010). Kalium dan vanadium mengkristal dalam susunan kubus berpusat badan (*body centered cubic, bcc*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Susunan Kubus Berpusat Badan (Callister & Rethwisch, 2018)

Senyawa kovalen tersusun atas molekul-molekul. Di dalam ruangan, atom-atom yang terdapat pada suatu molekul atau ion poliatomik berada dalam keadaan tertentu sehingga diperoleh bentuk molekul yang tertentu pula. Bentuk molekul merupakan bentuk tiga dimensi dari suatu molekul yang ditentukan oleh jumlah ikatan dan besarnya sudut-sudut ikatan yang ada di sekitar atom pusatnya. Istilah lain dari bentuk molekul adalah geometri dan struktur molekul (Effendy, 2008b).

Bentuk molekul mempengaruhi sifat-sifat kimia dan fisikanya, seperti kepolaran, sifat magnet, titik leleh, titik didih, kerapatan, dan jenis reaksi yang dialaminya. Bentuk molekul suatu senyawa ditentukan melalui hasil eksperimen, namun data yang diperoleh tidak langsung berupa bentuk molekulnya melainkan berupa kepolaran, sudut ikatan dan panjang ikatan. Sudut ikatan adalah sudut geometris antara dua ikatan yang berdekatan sedangkan panjang ikatan adalah jarak antara inti dari dua atom yang berikatan secara kovalen dalam suatu molekul. Adapun beberapa metode eksperimen dalam menentukan bentuk molekul diantaranya menggunakan metode difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*), seperti kristalografi sinar-X (*X-Ray Crystallography*), spektroskopi raman, dan inframerah. Pengetahuan para ilmuwan tentang bentuk molekul didasarkan pada hasil eksperimen dengan metode tersebut.

Selain itu bentuk molekul akan mempengaruhi kepolaran molekul melalui fakta eksperimen yang dapat diketahui dari pemisahan muatan yang dibuktikan dengan medan listrik (*electric field*) dan lempengan. Suatu molekul bersifat polar dipengaruhi oleh medan listrik, sedangkan molekul nonpolar tidak dipengaruhi oleh medan listrik. Berdasarkan data hasil eksperimen difraksi sinar-X dan percobaan melalui medan listrik, didapatkan data yang terdiri dari sudut ikatan, panjang ikatan dan kepolaran molekul yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Untuk meramalkan bentuk molekul digunakan teori VSEPR (*Valence-shell electron-pair repulsion*). Teori VSEPR (*Valence-shell Electron-pair Repulsion*) digunakan untuk menjelaskan dan meramalkan bentuk molekul. Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa pasangan-pasangan elektron, baik pasangan elektron ikatan maupun pasangan elektron

bebas, yang terdapat pada kulit valensi atom pusat letaknya saling berjauhan antara satu dengan yang lain agar tolakannya minimal.

Tabel 1. Sudut Ikatan, Panjang Ikatan, dan Kepolaran Beberapa Molekul

No	Molekul	Sudut ikatan	Panjang ikatan	Kepolaran molekul
1.	BeCl ₂	180°	2,1 Å	Nonpolar
2.	BF ₃	120°	1,313 Å	Nonpolar
3.	CH ₄	109,5°	1,09 Å	Nonpolar
4.	PF ₅	90°, 120°, 180°	P – F (vertikal) = 1,57 Å dan P – F (horizontal) = 1,57 Å	Nonpolar
5.	SF ₆	90°	1,579 Å	Nonpolar
6.	NH ₃	107,3°	1,31 Å	Polar
7.	H ₂ O	104,5°	0,97 Å	Polar

Banyaknya pasangan electron ikatan sigma dan pasangan electron bebas pada kulit valensi atom pusat dinyatakan dengan bilangan koordinasi (*coordination number* atau *steric number*). Suatu molekul dengan ikatan-ikatan tunggal dapat dinyatakan dengan rumus umum AX_mE_n. A adalah atom pusat, X substituent yang terikat pada atom pusat, dan E pasangan electron bebas yang terdapat pada kulit valensi atom pusat. Indeks m menyatakan banyaknya substituent yang terikat pada atom pusat atau banyaknya pasangan electron ikatan sigma, sedangkan indeks n menyatakan banyaknya pasangan electron bebas. Jumlah m dan n merupakan bilangan koordinasi dari atom pusat. Untuk molekul dengan bilangan koordinasi 2 sampai 7, kombinasi harga m dan n memberikan molekul-molekul dengan berbagai bentuk seperti diberikan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2. Bentuk Molekul dengan Rumus Umum AX_mE_n

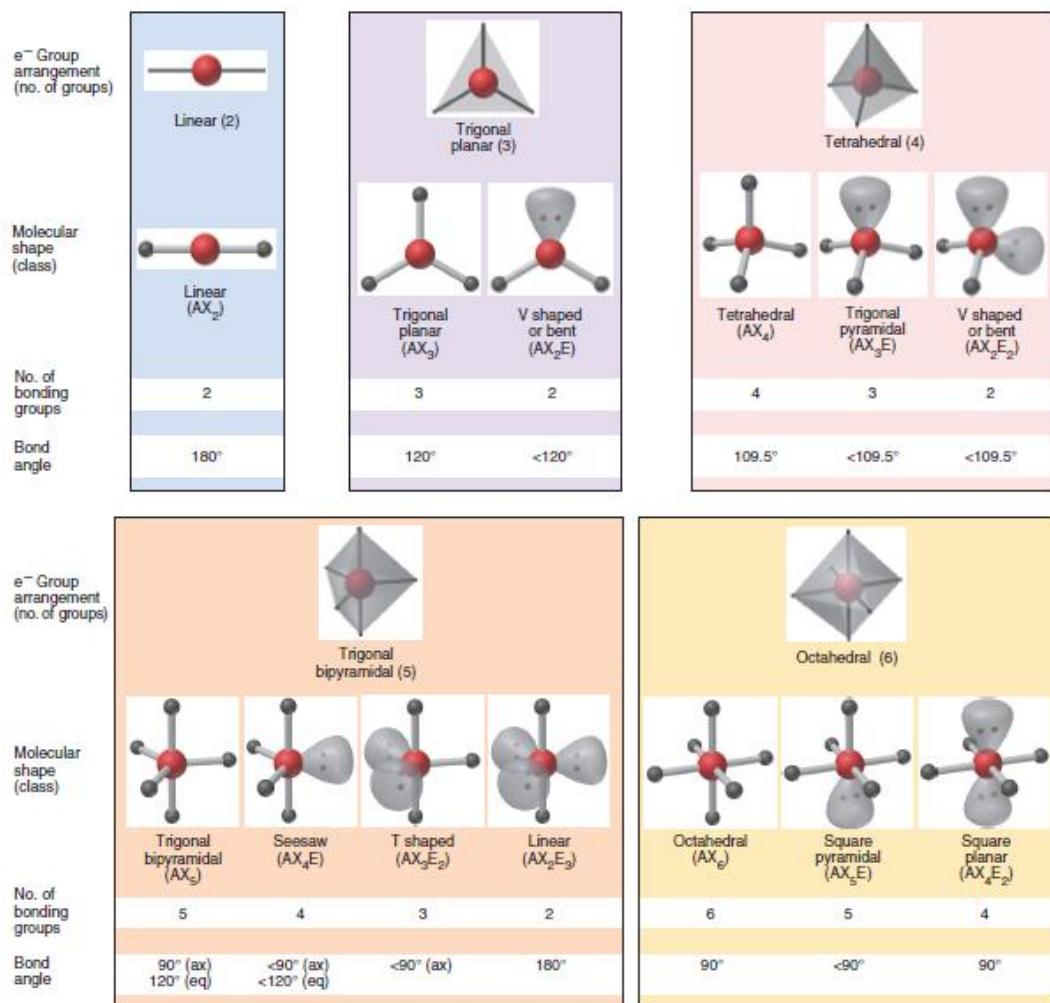
BK	Jumlah Pasangan Elektron Ikatan	Jumlah Pasangan Elektron Bebas	Rumus	Bentuk Molekul
2	2	0	AX ₂	Linear
3	3	0	AX ₃	Trigonal planar
3	2	1	AX ₂ E	Huruf V
4	4	0	AX ₄	Tetrahedral
4	3	1	AX ₃ E	Trigonal piramidal
4	2	2	AX ₂ E ₂	Huruf V
5	5	0	AX ₅	Trigonal bipiramidal
5	4	1	AX ₄ E	Seesaw atau disfenoidal
5	3	2	AX ₃ E ₂	Planar bentuk T
5	2	3	AX ₂ E ₃	Linear
6	6	0	AX ₆	Oktahedral
6	5	1	AX ₅ E	Piramida alas bujur sangkar
6	4	2	AX ₄ E ₂	Bujur sangkar
7	7	0	AX ₇	Pentagonal bipiramidal

Langkah-langkah dalam meramalkan bentuk molekul dengan teori VSEPR, yaitu:

1. Menentukan atom pusat
2. Menentukan Bilangan Koordinasi (BK) atom pusat, dengan rumus

$BK = \frac{1}{2} (\text{elektron valensi atom pusat} + \text{banyaknya elektron yang disumbangkan oleh substituen} - \text{muatan yang ada})$

3. Menentukan banyaknya pasangan elektron ikatan (PEI) dan pasangan elektron bebas (PEB)
4. Menentukan bentuk molekul beserta perkiraan besarnya sudut-sudut ikatan yang ada



Gambar 4. Bentuk Molekul dengan BK 2-6 (Silberberg & Amateis, 2015)

Setelah memahami tentang ikatan kimia dan bentuk molekul, peserta membentuk kelompok untuk berdiskusi. Peserta berdiskusi untuk melengkapi Tabel 3.

Tugas Kelompok

Untuk lebih memahami tentang bentuk molekul, lengkapi Tabel 3 berikut dan diskusikan dengan kelompok masing-masing.

Tabel 3. Bentuk Molekul beberapa Senyawa Kovalen

No.	Molekul	Jumlah Pasangan Elektron Ikatan	Jumlah Pasangan Elektron Bebas	BK	Rumus	Bentuk Molekul
1.	BeCl ₂					
2.	BF ₃					
3.	SO ₂					
4.	CH ₄					
5.	NH ₃					
6.	H ₂ O					
7.	PCl ₅					
8.	SF ₄					
9.	ClF ₃					
10.	XeF ₂					
11.	SF ₆					
12.	BrF ₅					
13.	XeF ₄					

Setelah melengkapi Tabel 3, setiap kelompok mempresentasikan hasil diskusinya, dan kelompok lain memberikan tanggapan. Setelah diskusi, peserta bersama-sama membuat kesimpulan.

Penutup

Peserta diminta duduk melingkar agar bisa melihat satu sama lain lebih dekat. Peserta diminta menceritakan tentang apa yang sudah mereka pelajari hari ini dan manfaatnya. Peserta juga diminta menyampaikan apa yang mereka rasakan setelah mengikuti *workshop*.

EPISODE 2

Kompetensi yang dikembangkan:

- Berpikir kritis (*critical thinking*)
- Kreativitas (*creativity*)
- Kolaborasi (*collaboration*)
- Komunikasi (*communication*)
- Pemecahan masalah kompleks (*Complex problem-solving*)

Tujuan

- Menganalisis konsep Ikatan Kimia dan Bentuk Molekul

Pada episode kedua, peserta diberikan penjelasan mengenai proyek yang akan dikerjakan, termasuk konteks dan relevansinya dalam pembelajaran kimia. Kemudian peserta diminta membentuk kelompok untuk merancang kit bentuk molekul. Peserta mendiskusikan ide-ide awal dan pertanyaan yang berkaitan dengan proyek, yaitu desain kit bentuk molekul yang akan dibuat. Setiap kelompok merumuskan rencana kerja yang mencakup pembagian tugas, timeline, dan sumber daya yang dibutuhkan.

LET'S BUILD THE MOLECULE!

- MERANCANG KIT BENTUK MOLEKUL

Pendahuluan

Peserta diingatkan kembali mengenai materi ikatan kimia dan bentuk molekul yang dipelajari sebelumnya. Peserta diberikan penjelasan mengenai proyek yang akan dikerjakan. Peserta merancang kit bentuk molekul yang akan dikembangkan secara berkelompok. Peserta mendiskusikan ide-ide awal untuk desain kit bentuk molekul.

Inti

Kit Bentuk Molekul

Kit bentuk molekul dirancang untuk membantu siswa memahami konsep ikatan kimia dan bentuk molekul secara interaktif. Dengan membuat model fisik, siswa dapat belajar tentang:

- Jenis ikatan kimia: ikatan ion, kovalen, dan logam.
- Bentuk molekul: bagaimana susunan atom mempengaruhi sifat fisik dan kimia.
- Polaritas molekul: dampak distribusi elektron terhadap sifat molekul.

Komponen kit terdiri dari:

1. Model Atom

- Deskripsi: Setiap atom dalam kit akan direpresentasikan oleh bola berwarna yang mencerminkan elemen tertentu (misalnya, H, O, C, N).
- Ukuran dan Warna:
 - Hidrogen (H) - Kecil, warna putih.
 - Oksigen (O) - Sedang, warna merah.
 - Karbon (C) - Besar, warna hitam.
 - Nitrogen (N) - Sedang, warna biru.
- Fitur: Setiap bola atom akan memiliki lubang untuk menghubungkan dengan ikatan.

2. Ikatan Kimia

- Deskripsi: Ikatan akan terbuat dari material fleksibel, seperti silicone atau TPE, yang memungkinkan siswa untuk menyambungkan atom.
- Tipe Ikatan:
 - Ikatan Tunggal: Representasi dengan satu batang fleksibel.
 - Ikatan Ganda: Dua batang fleksibel yang berdekatan.
 - Ikatan Tripel: Tiga batang fleksibel yang berdekatan.
- Fungsi: Memperlihatkan bagaimana atom saling berinteraksi dan membentuk molekul.

3. Basis Model

- Deskripsi: Basis untuk menampung model molekul, terbuat dari akrilik yang dipotong dengan laser.
- Desain: Basis dengan ruang untuk menempelkan model, serta label untuk nama molekul dan jenis ikatan.
- Fungsi: Menyediakan stabilitas dan mendukung model saat dipamerkan.

Perancangan Proyek

Peserta secara berkelompok, merancang proyek kit bentuk molekul yang akan dibuat. Peserta diminta membuat kit bentuk molekul untuk BK 2-6. Komponen kit yang harus dibuat, ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 4. Rancangan Kit Bentuk Molekul

No.	Komponen	Jumlah	Deskripsi Rancangan	Gambar Rancangan
1.	Model atom			
2.	Ikatan kimia			
3.	Basis model			

Setelah selesai merancang kit bentuk molekul, setiap kelompok mempresentasikan desain rancangannya, dan kelompok lain menmberikan tanggapan.

Penutup

Peserta diminta duduk melingkar. Peserta menceritakan tentang apa yang sudah mereka lakukan hari ini dan manfaatnya. Peserta bisa menyampaikan kendala yang dihadapi selama perancangan proyek dan cara mengatasinya. Peserta juga diminta menyampaikan apa yang mereka rasakan setelah mengikuti *workshop*.

EPISODE 3

Kompetensi yang dikembangkan

- Berpikir kritis (*critical thinking*)
- Kreativitas (*creativity*)
- Kolaborasi (*collaboration*)
- Literasi digital (*digital literacy*)
- Pemecahan masalah kompleks (*complex problem-solving*)
- Berpikiran terbuka dan toleransi (*open-mindedness and tolerance*)
- Keterampilan teknis 3D desain

Tujuan

- Mengembangkan keterampilan desain 3D dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) Tinkercad untuk membuat model molekul yang akurat

Pada episode ketiga, peserta akan belajar mendesain objek 3D dengan Tinkercad. Peserta mendesain kit bentuk molekul yang diinginkan.

DESIGNING A MOLECULE KIT

- MENDESAIN BENTUK MOLEKUL DENGAN TINKERCAD

Pendahuluan

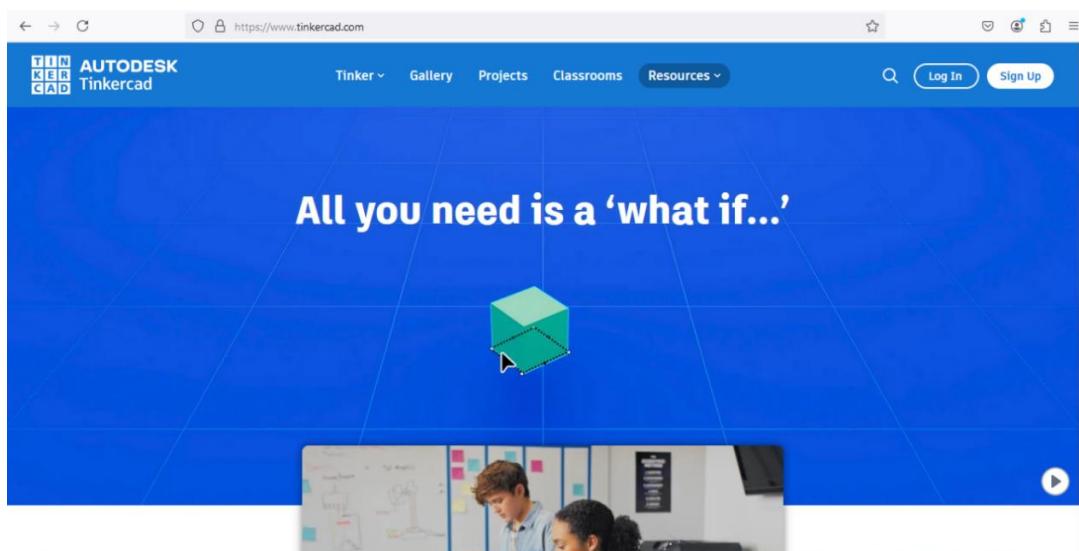
Peserta membaca kembali desain rancangan kit bentuk molekul yang sudah dibutuh bersama kelompoknya pada pertemuan sebelumnya. Peserta akan mendesain objek 3D menggunakan Tinkercad. Peserta diberi penjelasan awal mengenai Tinkercad.

Inti

Desain 3D dengan Tinkercad

Tinkercad adalah alat desain 3D berbasis web yang mudah digunakan, dan ideal untuk pemula. Berikut adalah langkah-langkah membuat desain kit bentuk molekul di Tinkercad.

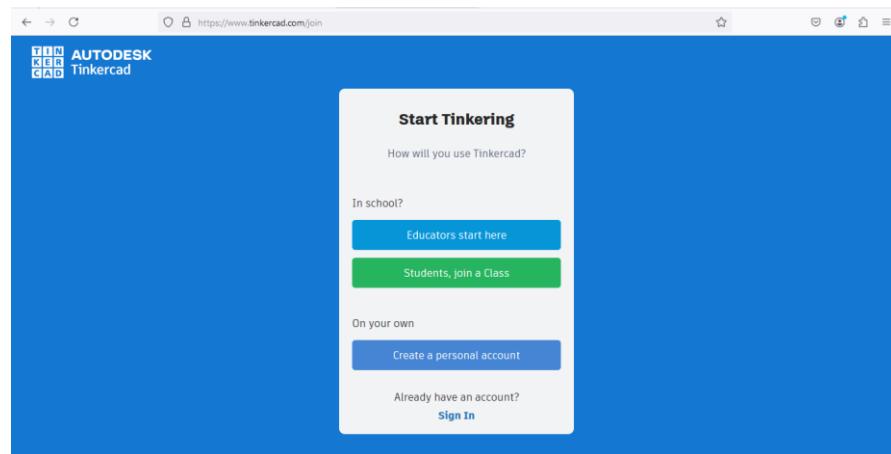
1. Buka Tinkercad dengan masuk ke laman <https://www.tinkercad.com/>



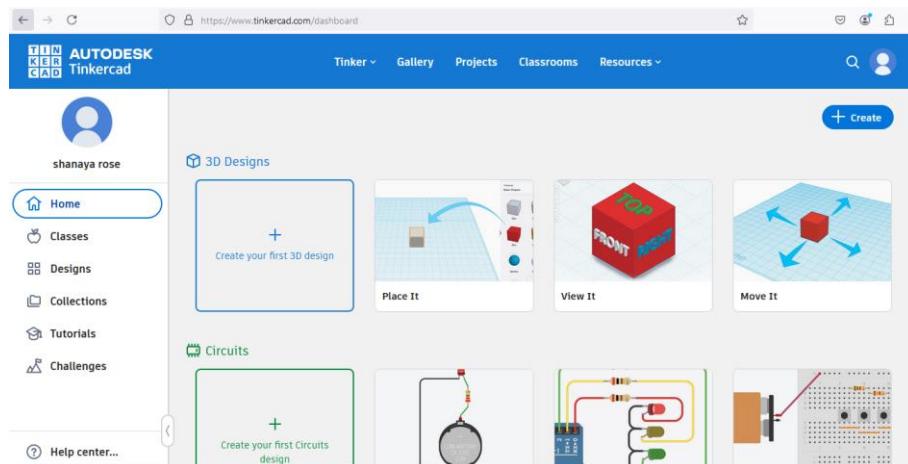
Gambar 5. Tampilan Laman Awal Tinkercad

2. Jika sudah memiliki akun, klik menu Log In di kanan atas dan masuk ke akun. Jika belum memiliki akun, klik Sign Up di pojok kanan atas. Peserta dapat mendaftar sebagai guru, siswa, atau personal seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Peserta bisa

menggunakan akun google yang dimiliki. Setelah masuk ke akun, akan berada di laman dashboard seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

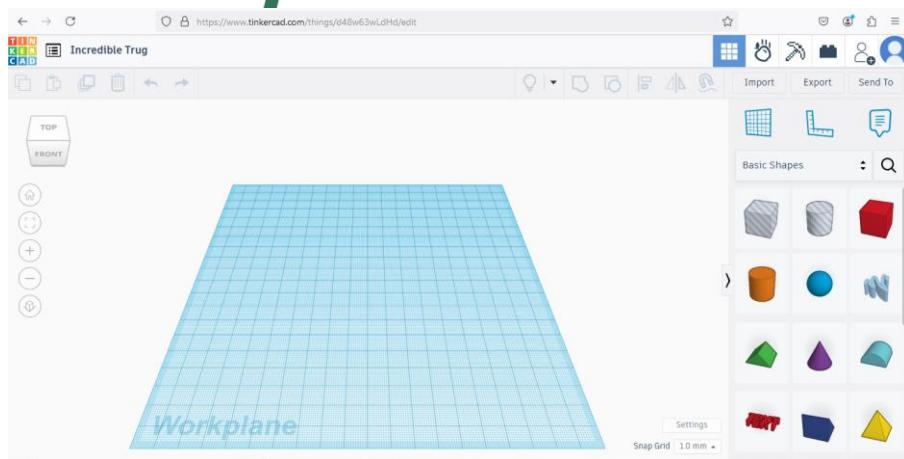


Gambar 6. Tampilan Laman *Sign Up* pada Tinkercad



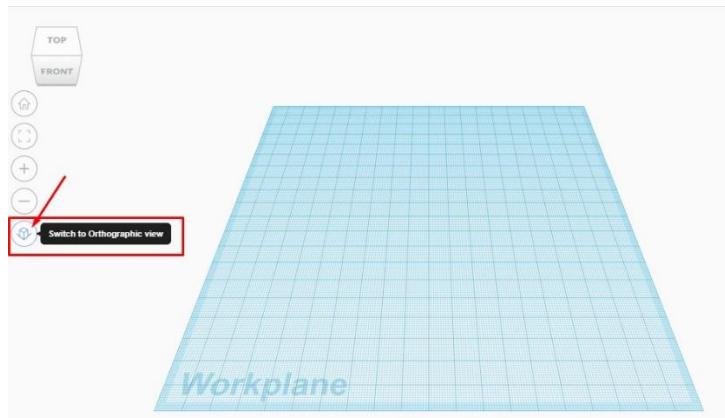
Gambar 7. Tampilan Laman *Dashboard* pada Tinkercad

3. Untuk membuat desain baru, klik “Create new design”, dan akan masuk ke laman 3D *design* seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



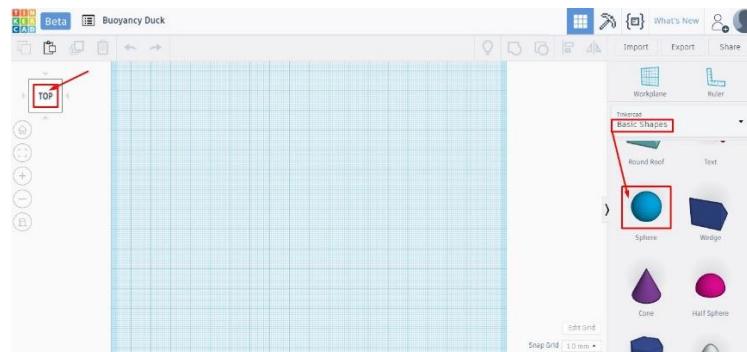
Gambar 8. Tampilan Laman 3D Design

4. Klik *Switch to Orthographic View*, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



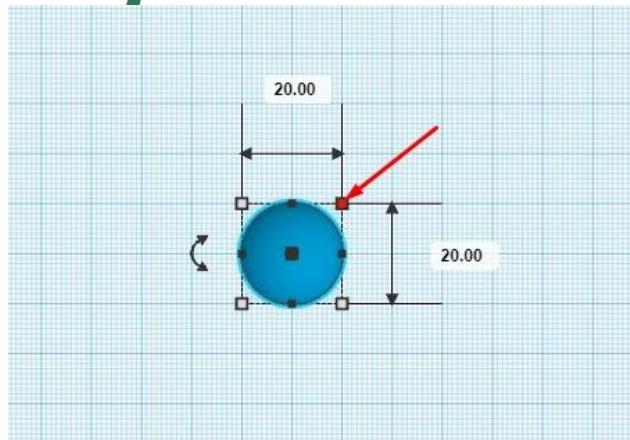
Gambar 9. Switch to Orthographic View

5. Membuat bola untuk atom, dengan mencari bentuk *sphere* (bola) di panel bentuk, kemudian tarik bola ke area kerja di bagian *top view*, seperti terlihat pada Gambar10.



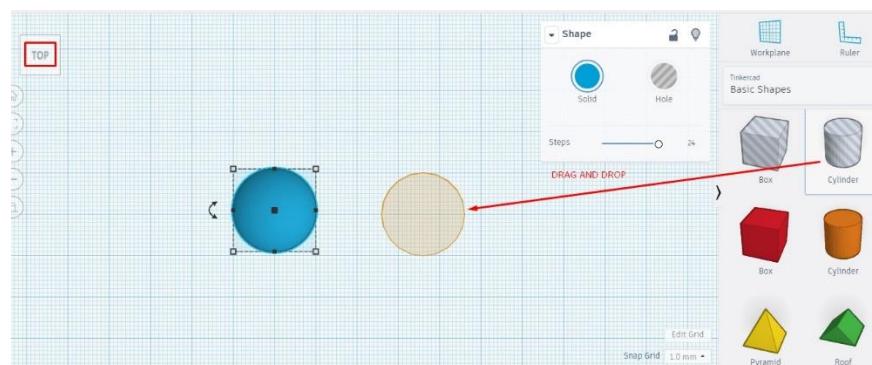
Gambar 10. Tarik Gambar Bola ke bagian Top View

6. Klik untuk mengubah dimensi bola, yang ditunjukkan pada Gambar 11.



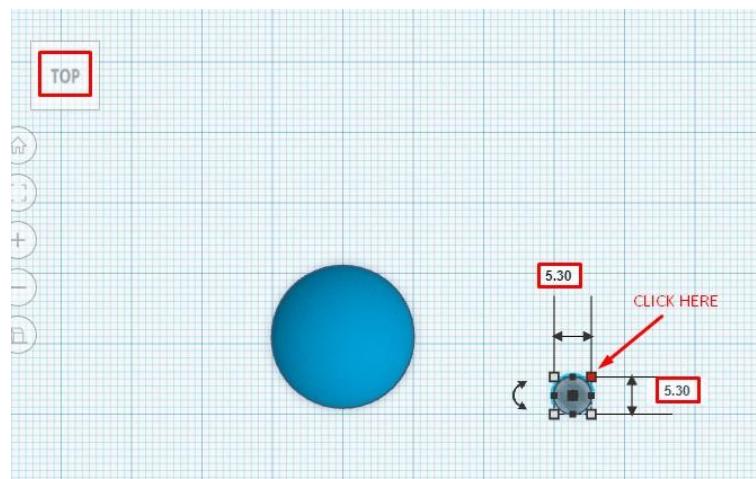
Gambar 11. Mengubah Ukuran Dimensi Bola

7. Tarik dan letakkan silinder di bidang kerja, seperti terihat pada Gambar 12.



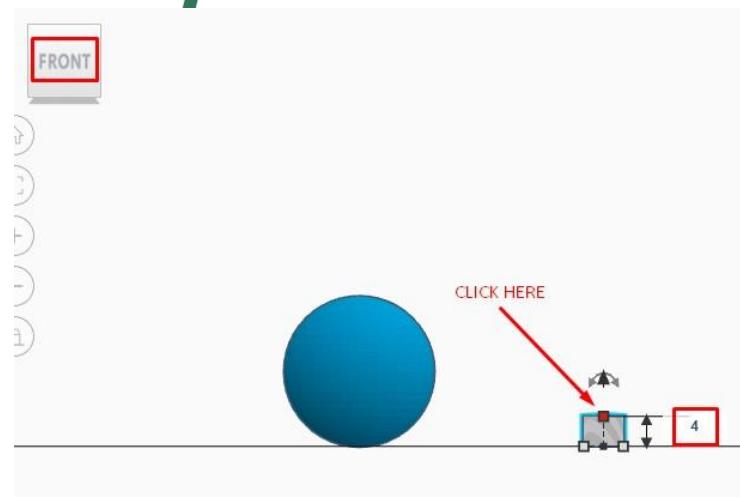
Gambar 12. Tarik Gambar Silinder

8. Ubah dimensi silinder seperti pada Gambar 13.



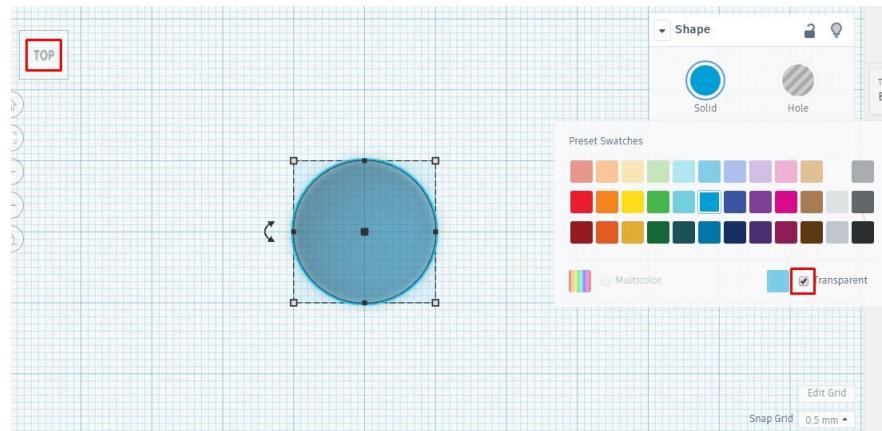
Gambar 13. Mengubah Dimensi Silinder

9. Ubah dimensi dari *front view*, seperti pada Gambar 14.



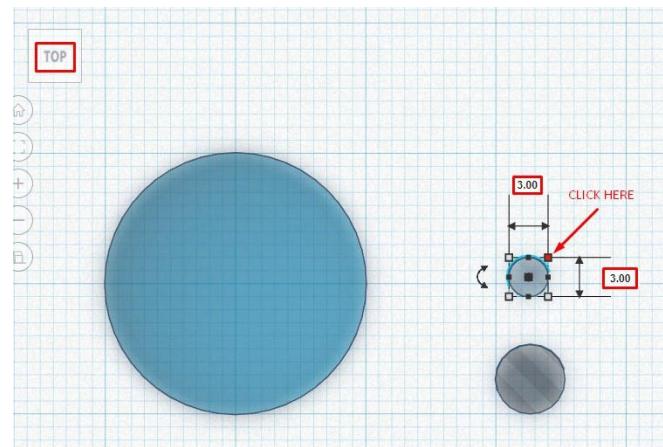
Gambar 14. Mengubah Diemensi dari Front View

10. Terapkan *transparent* material, seperti pada Gambar 15.



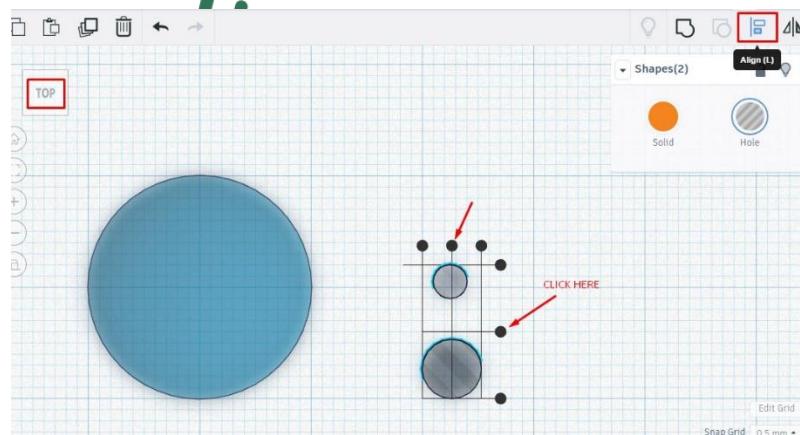
Gambar 15. Applying Transparent Material

11. Ubah dimensi menjadi 3 mm dan 3 mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.



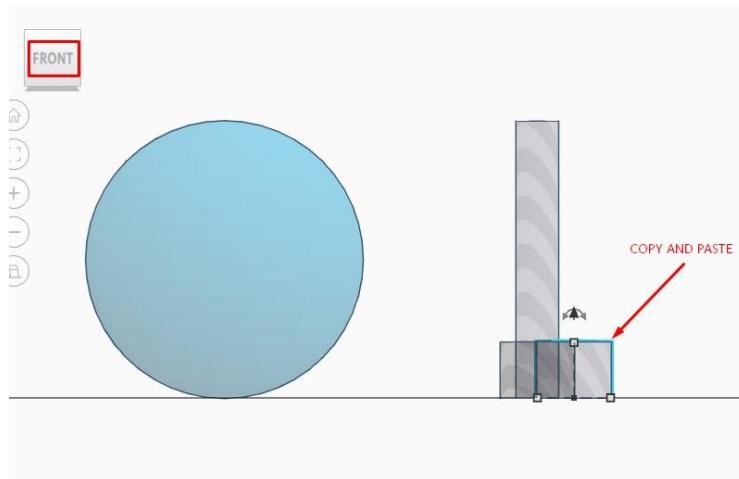
Gambar 16. Mengubah Dimensi Menjadi 3 mm x 3mm

12. Sejajarkan silinder (*aligning cylinders*) seperti pada Gambar 17.



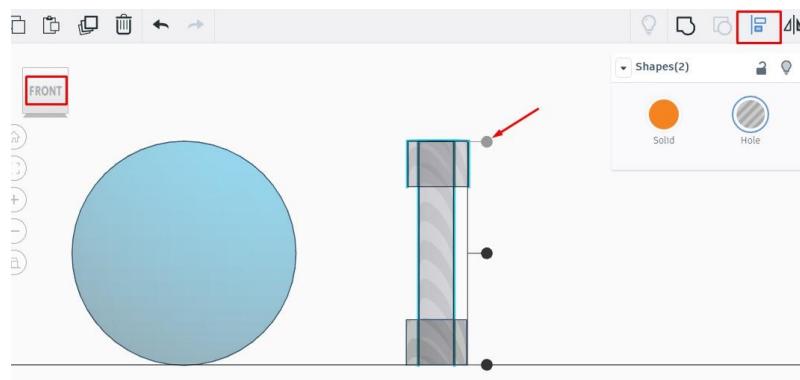
Gambar 17. Menyejajarkan Silinder

13. *Copy and paste* silinder seperti pada Gambar18.



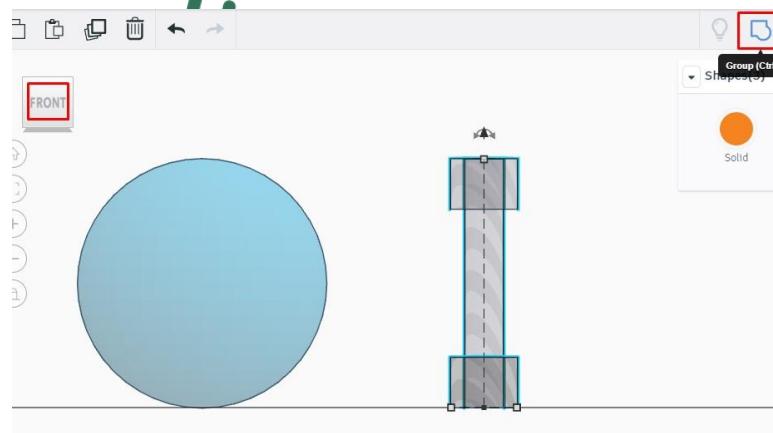
Gambar 18. *Copy and Paste Cylinders*

14. Sejajarkan silinder di *front view* seperti pada Gambar 19.



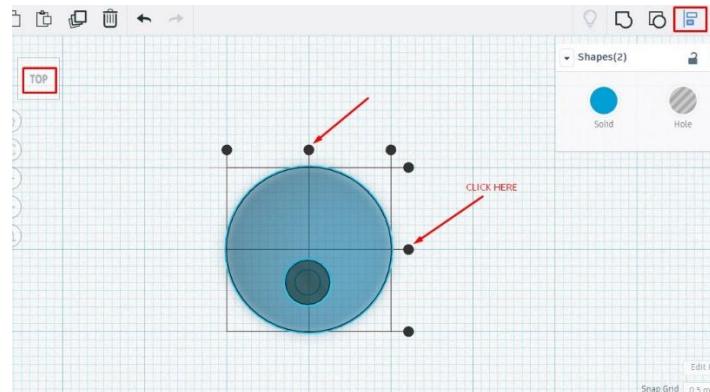
Gambar 19. Menyejajarkan Silinder di front view

15. Grouping object silinder seperti pada Gambar 20.



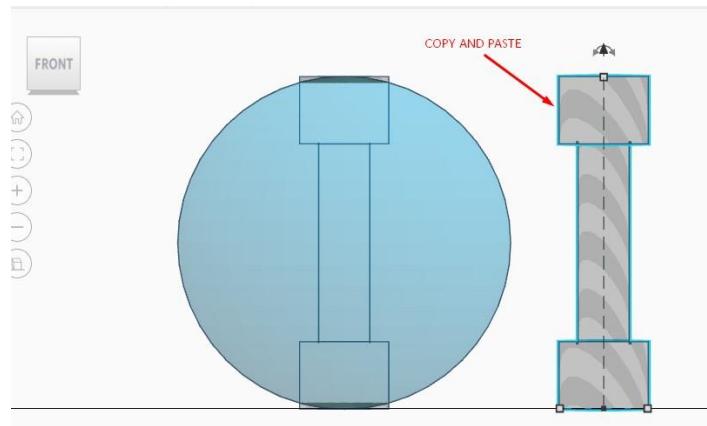
Gambar 20. Grouping Object

16. Sejajarkan objek dari *front view* seperti pada Gambar 21.



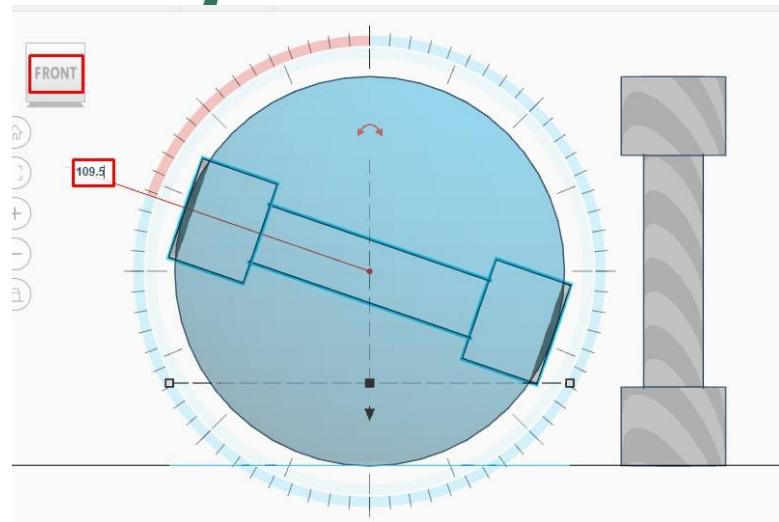
Gambar 21. Menyejajarkan Objek dari *Front View*

17. Copy and paste seperti pada Gambar 22.



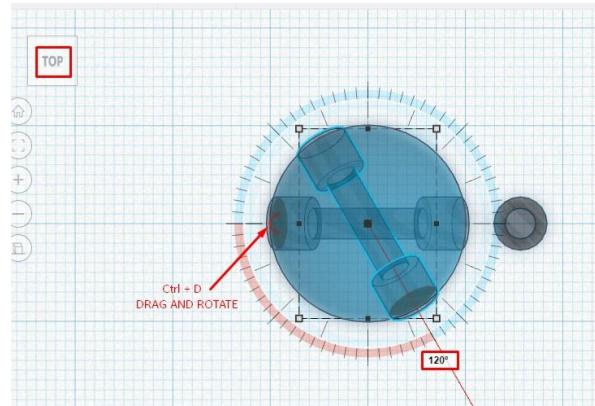
Gambar 22. Copy and Paste

18. Lakukan rotasi dengan sudut $109,5^\circ$ seperti ditunjukkan pada Gambar 23.



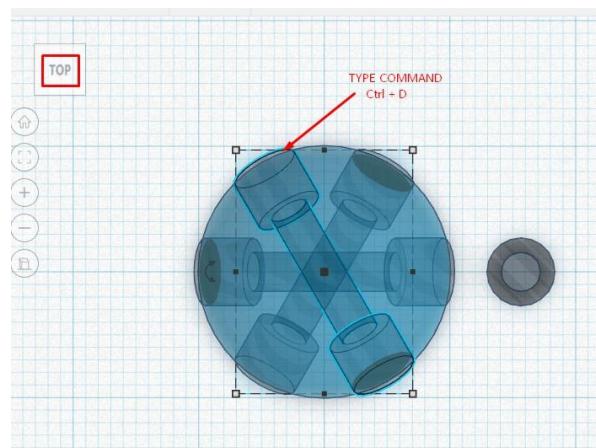
Gambar 23. Rotasi dengan Sudut 109,5

19. *Ctrl + D and Drag and Rotate*, seperti terlihat pada Gambar 24.



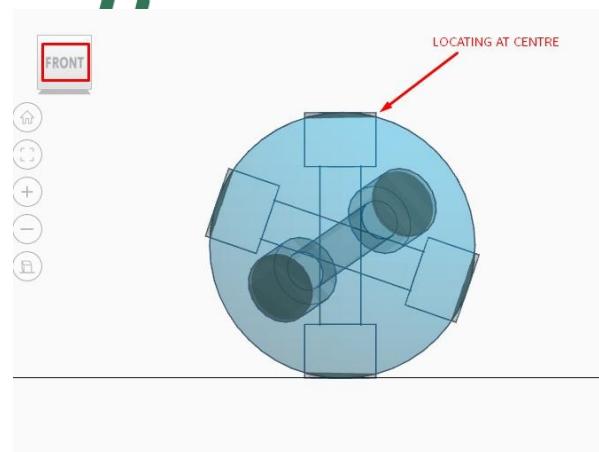
Gambar 24. *Drag and Rotate*

20. *Ctrl + D* untuk menduplikasi lagi, seperti ditunjukkan pada Gambar 25.



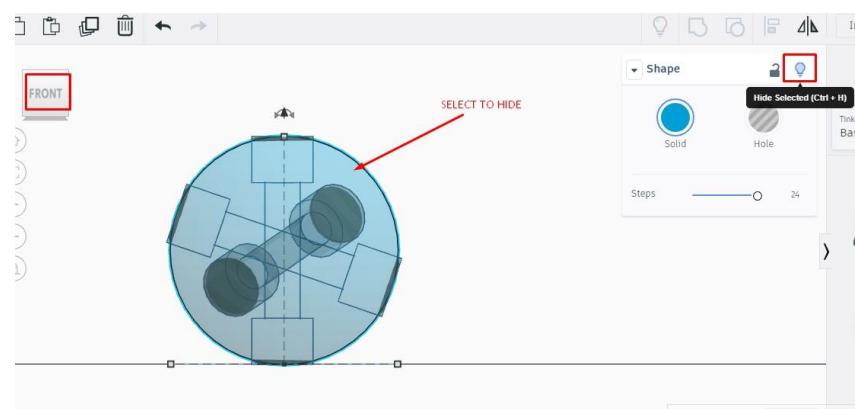
Gambar 25. *Duplikasi Objek*

21. Mengatur objek di bagian pusat



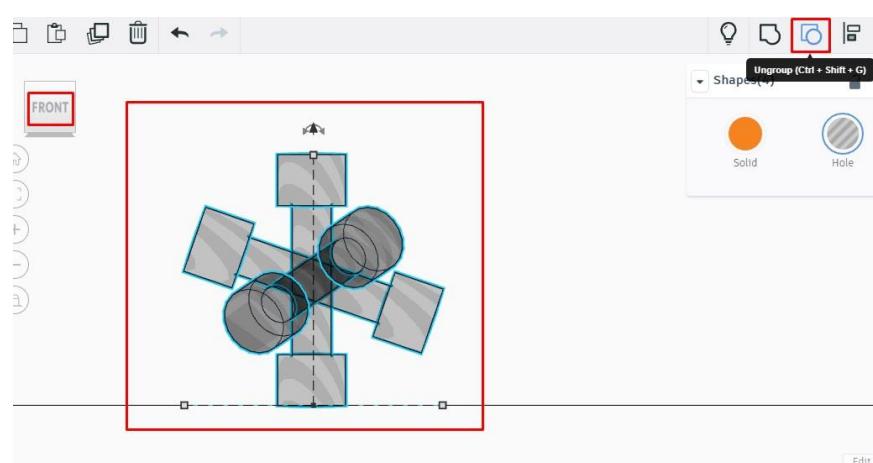
Gambar 26. Mengatur Objek di Bagian Pusat

22. Sembunyikan objek, seperti pada Gambar 26.



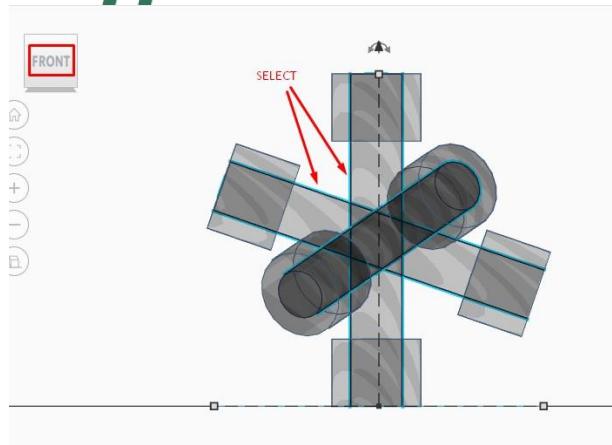
Gambar 27. Sembunyikan Objek

23. Ungrouping objects, seperti ditunjukkan pada Gambar 28.



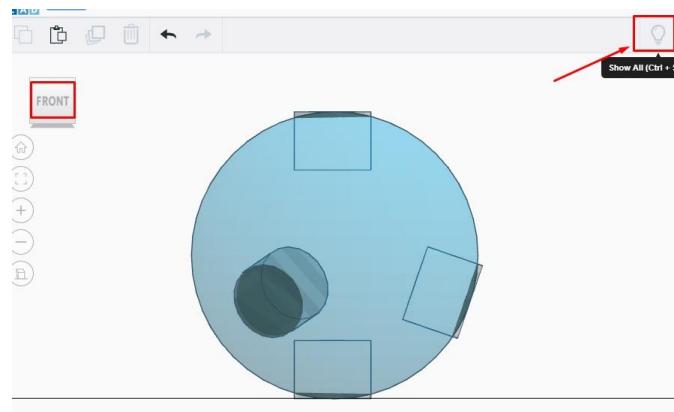
Gambar 28. Ungrouping Objects

24. Pilih silinder Panjang untuk dihapus, yang ditunjukkan pada Gambar 29.



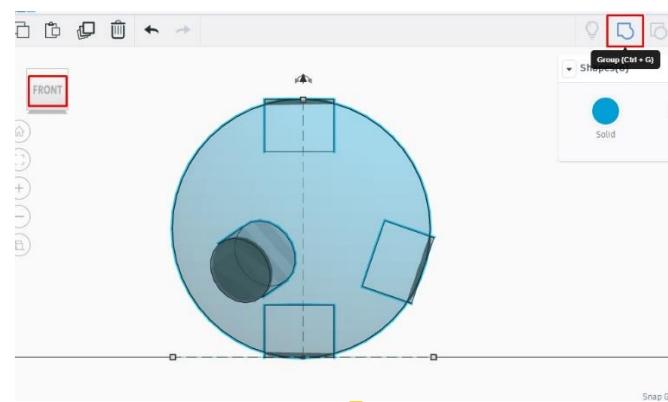
Gambar 29. Memilih Silinder Panjang untuk Dihapus

25. Tampilkan semua objek, seperti pada Gambar 30.



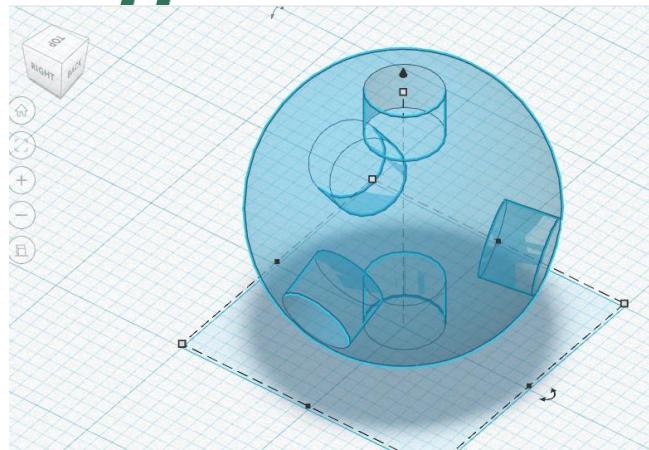
Gambar 30. Menampilkan Semua Objek

26. Grouping objek menjadi satu untuk membuat lubang di dalamnya, seperti terlihat pada Gambar 31.



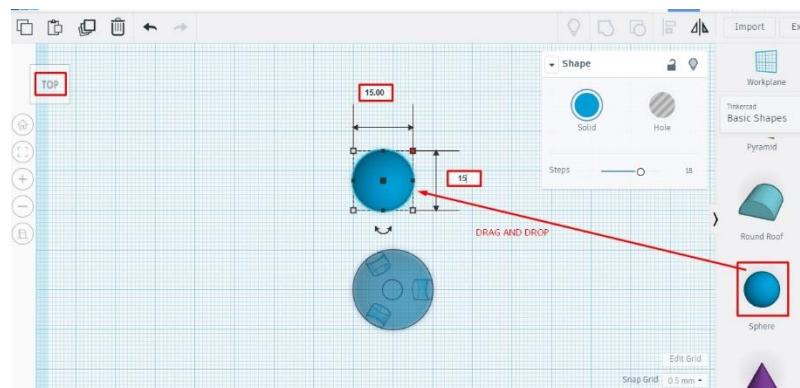
Gambar 31. Grouping Objects

27. Hasil akhir untuk bola atom diyunjukkan pada Gambar 32.



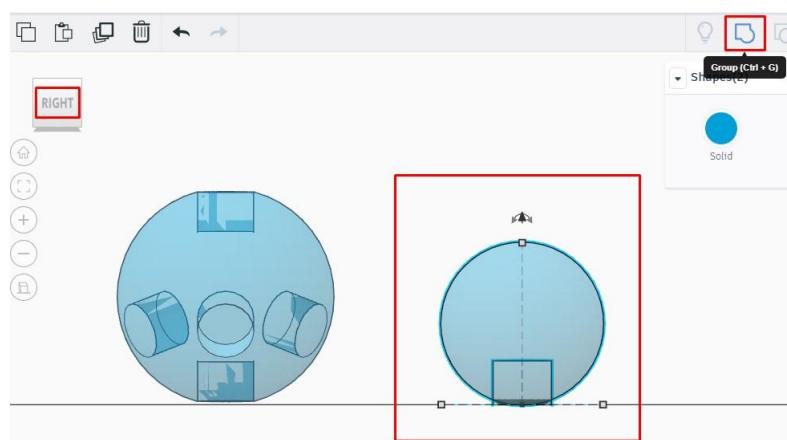
Gambar 32. Hasil Akhir untuk Bola Atom

28. Menambahkan bola di *top view*, ditunjukkan pada Gambar 33.



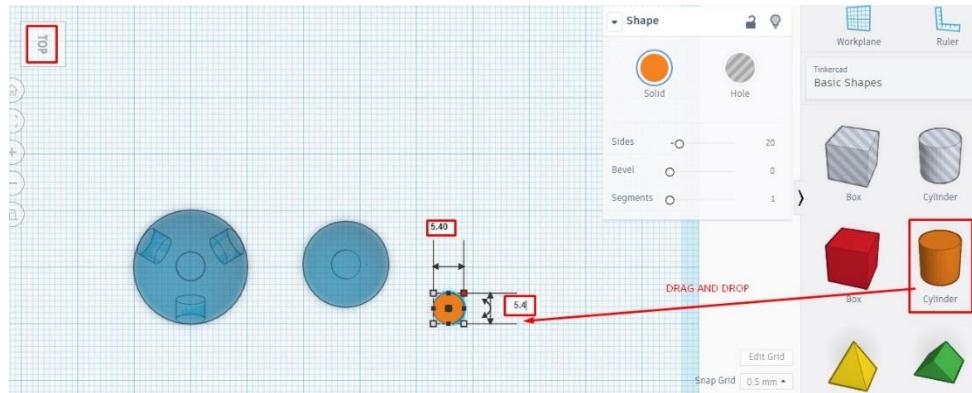
Gambar 33. Menambahkan Bola di *Top View*

29. Tambahkan prosedur terakhir dan *group* objek, ditunjukkan pada Gambar 34.



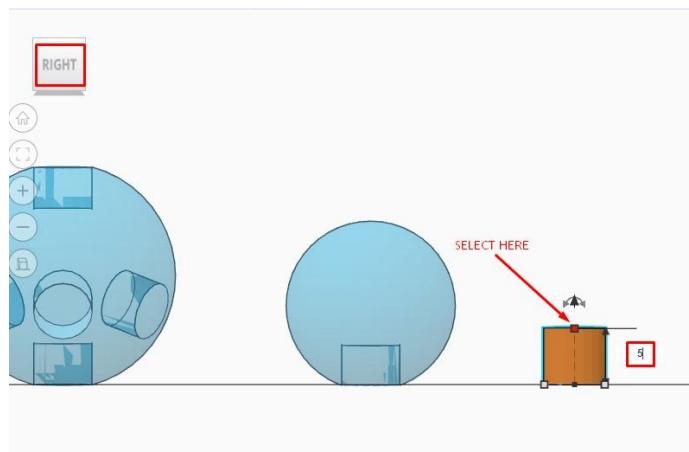
Gambar 34. Group Objects

30. Tarik dan letakkan silinder di bidang kerja dan ubah dimensinya, seperti pada Gambar 35.



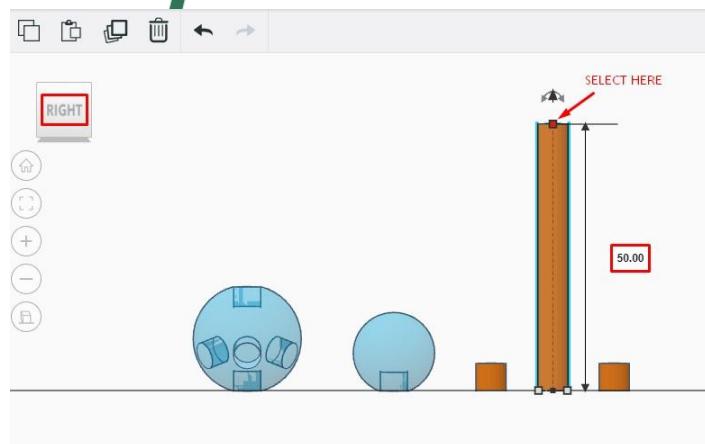
Gambar 35. *Drag and Drop Cylinders*

31. Dimendi di *right view*, ditunjukkan pada Gambar 36.



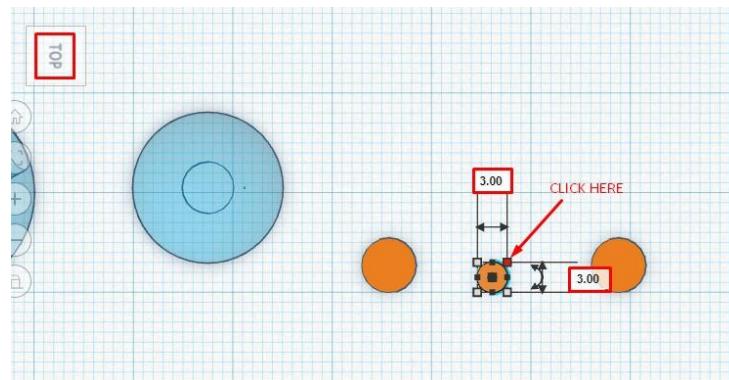
Gambar 36. *Dimensions in Right View*

32. Mengatur tinggi di 50 mm seperti pada Gambar 37.



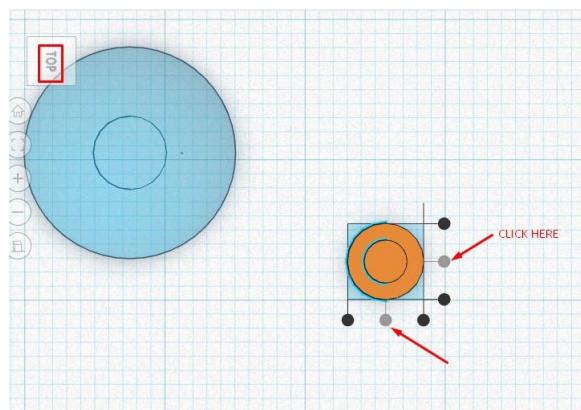
Gambar 37. Mengatur Tinggi di 50 mm

33. Mengatur dimensi 3 mm di *top view*, yang ditunjukkan pada Gambar 38.



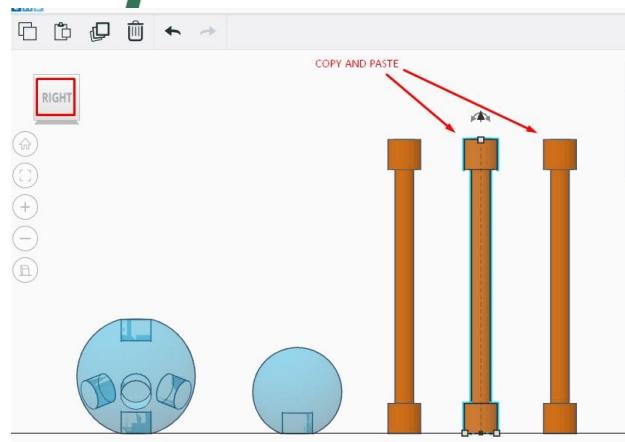
Gambar 38. Mengatur Dimensi 3 mm di Top View

34. Sejajarkan silinder untuk ikatan penghubung, seperti pada Gambar 39.



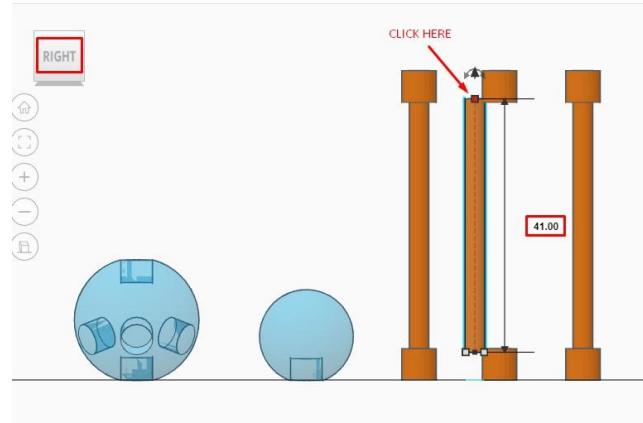
Gambar 39. Menyejajarkan Silinder untuk Ikatan Penghubung

35. *Copy paste* ikatan siinder, yang ditunjukkan pada Gambar 39.



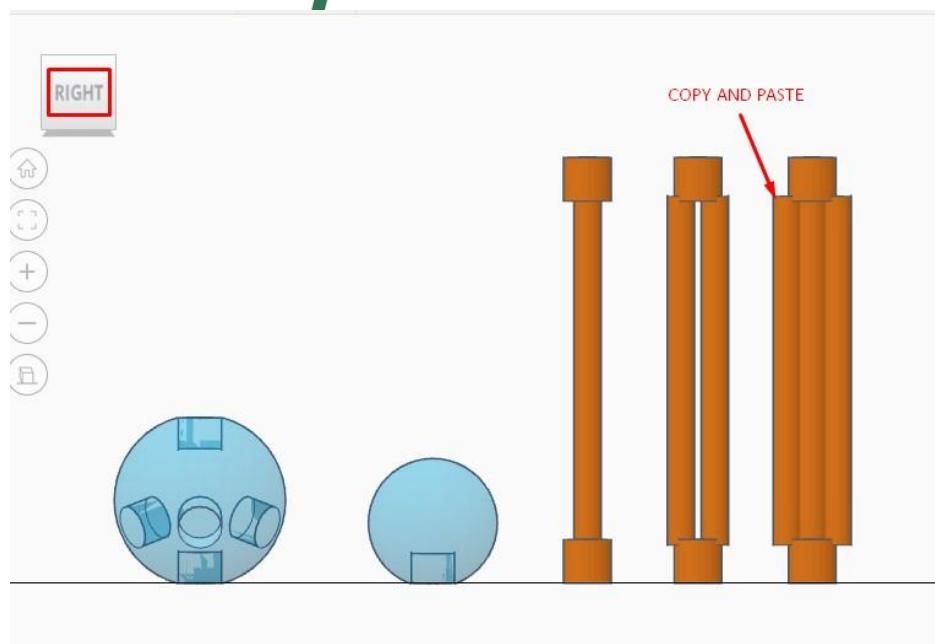
Gambar 40. *Copy Paste* Ikatan silinder

36. Atur ketinggian pada 41 mm seperti pada Gambar 41.

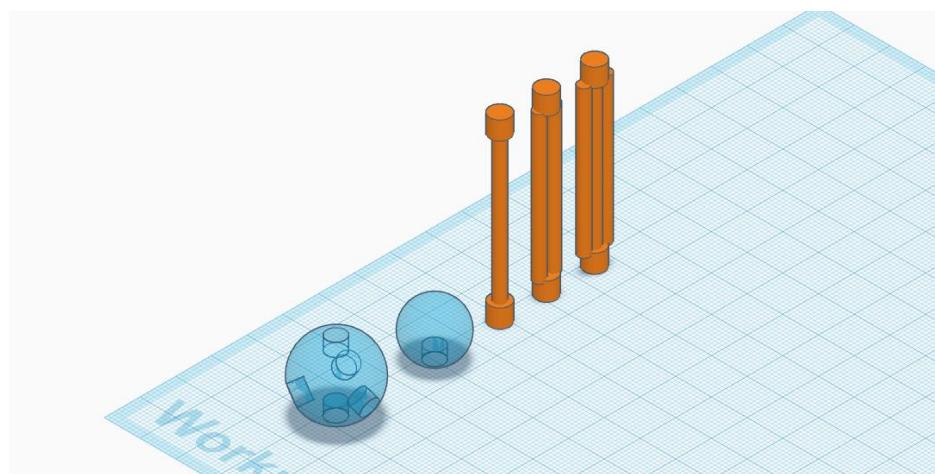


Gambar 41. Mengatur Ketinggian Silinder pada 41 mm

37. Hasil Akhir ditunjukkan pada Gambar 42 dan 43.



Gambar 42. Hasil Akhir



Gambar 43. Hasil Akhir dilihat dari Samping

Penutup

Peserta diminta duduk melingkar dan menceritakan apa yang mereka lakukan hari ini dan apa yang mereka rasakan. Peserta bisa menyebutkan kendala yang mereka hadapi saat mendesain kit bentuk molekul dengan Tinkercad dan cara mengatasinya. Peserta diberi tugas untuk mendesain kit bentuk molekul sesuai rancangan yang telah dibuat.

EPISODE 4

Kompetensi yang Dikembangkan:

- Berpikir kritis (*critical thinking*)
- Kreativitas (*creativity*)
- Kolaborasi (*collaboration*)
- Literasi digital (*digital literacy*)
- Pemecahan masalah kompleks (*complex problem-solving*)
- Berpikiran terbuka dan toleransi (*open-mindedness and tolerance*)
- Keterampilan teknis *3D printing and design*
- Keterampilan teknis *laser cutting*

Tujuan:

- Mengoperasikan 3D Printer dan mesin Laser Cutter

Peserta mempelajari 3D printing dan cara menggunakannya. Peserta mengenal berbagai macam alat 3D printer dan bahan yang digunakan untuk mencetak objek 3D. Peserta mempelajari cara penggunaan *laser cutting* untuk memotong bahan.



OBJECTS FROM NOTHING

- MENGENAL 3D PRINTING DAN LASER CUTTING

Pendahuluan

Peserta membuka kembali desain 3D yang telah dibuat dengan Tinkercad. Peserta akan mencetak desain 3D yang telah dibuat dengan 3D printer. Sebelum mencetak desain, peserta akan mempelajari *3D printing* dan *laser cutting* terlebih dulu untuk meningkatkan kemampuan teknis mereka.

Inti

3D Printing dan Laser Cutting

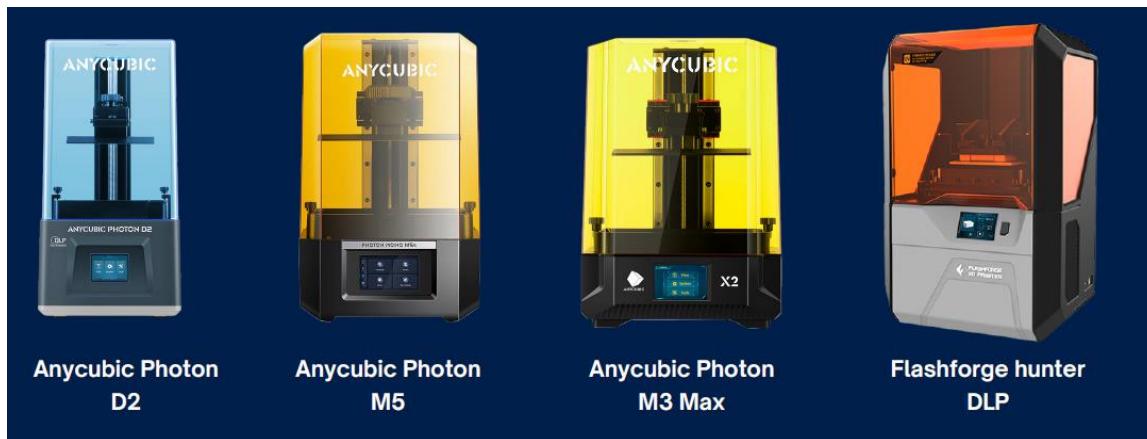
3D printing dan *laser cutting* adalah dua teknologi manufaktur modern yang semakin populer dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan, penelitian, dan industri. Keduanya memiliki kelebihan dan aplikasi yang unik, terutama dalam pembuatan kit bentuk molekul untuk tujuan pendidikan dan penelitian ilmiah.

3D Printing

3D printing, atau pencetakan 3D, adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dari model digital. Teknologi ini bekerja dengan menambahkan lapisan material secara bertahap untuk membentuk objek akhir (Mawardi, 2020). Ada beberapa metode 3D printing, seperti *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Stereolithography* (SLA), dan *Selective Laser Sintering* (SLS). Untuk mencetak 3D digunakan 3D printer.

3D printer adalah sebuah printer yang mempu mencetak benda berdimensi tiga. Kelebihan 3D printer adalah sangat memungkinkan untuk membuat berbagai bentuk dengan pola yang rumit. Hal ini dikarenakan keleluasaan gerakan printing pada ruang lingkup tiga dimensi. Bahan yang biasa digunakan untuk 3D printing adalah resin dan filamen. Beberapa contoh Resin 3D printer adalah Anycubic photon D2, M5, M3 Max, dan Flashforge hunter DLP, seperti ditunjukkan pada Gambar 44. Filamen 3D printer

contohnya Bambulab, Flashforge Creature Adventure 4 and 3, Flashforge Creator Pro 2 yang ditunjukkan pada Gambar 45.



Gambar 44. Resin 3D Printer



Gambar 45. Filamen 3D Printer

Kelebihan *3D printing* adalah sebagai berikut

1. Desain yang Kompleks: *3D printing* memungkinkan pencetakan bentuk yang sangat kompleks dan detail, yang sulit dicapai dengan metode tradisional.
2. Kustomisasi: Objek dapat dengan mudah disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan spesifik, seperti ukuran atau bentuk molekul tertentu.
3. Pengurangan Limbah: Proses ini cenderung menghasilkan lebih sedikit limbah dibandingkan dengan metode pemotongan tradisional, karena material ditambahkan, bukan dihilangkan.

4. Aksesibilitas: Dengan semakin banyaknya printer 3D yang tersedia dengan harga terjangkau, teknologi ini menjadi lebih mudah diakses oleh pelajar dan penggemar.

Langkah-langkah mencetak kit bentuk molekul menggunakan 3D printer adalah sebagai berikut.

1. Desain Model 3D:

- Pembuatan Model: Menggunakan perangkat lunak desain komputer (CAD), seperti Tinkercad, Fusion 360, atau Blender, untuk membuat model kit bentuk molekul
- Format File: Setelah desain selesai, model disimpan dalam format file yang kompatibel, seperti STL (Stereolithography) atau OBJ.

2. Persiapan Pencetakan:

- Slice File: Menggunakan perangkat lunak slicing (seperti Cura atau PrusaSlicer) untuk mengonversi model 3D menjadi instruksi yang dapat dibaca oleh printer 3D. Perangkat lunak ini membagi model menjadi lapisan-lapisan dan menentukan jalur pencetakan.
- Pengaturan Printer: Menentukan pengaturan printer, seperti suhu nozzle, kecepatan pencetakan, dan jenis bahan yang akan digunakan.

3. Proses Pencetakan:

- Pengisian Bahan: Memastikan printer 3D dilengkapi dengan bahan baku (filament untuk FDM, resin untuk SLA, dll.).
- Mulai Pencetakan: Mengirim file yang telah disiapkan ke printer 3D dan memulai proses pencetakan. Printer akan mencetak objek lapis demi lapis hingga selesai.

4. Penyelesaian:

- Penghilangan Support: Jika model memerlukan dukungan selama pencetakan, support ini perlu dihilangkan setelah pencetakan selesai.

- Finishing: Proses tambahan seperti penghalusan, pengecatan, atau perakitan dapat dilakukan untuk meningkatkan penampilan dan fungsi objek.

Laser Cutting

Laser cutting adalah teknologi yang menggunakan sinar laser untuk memotong atau mengukir material. Proses ini sangat presisi dan dapat digunakan pada berbagai jenis material, termasuk kayu, akrilik, dan logam. Alat *laser cutting* ditunjukkan pada Gambar 46.



Gambar 46. CNC LS 6040 - Laser CO₂ - Mesin Cutting dan Grafir

Kelebihan *laser cutting*:

1. Presisi Tinggi: *Laser cutting* menghasilkan tepi potongan yang bersih dan akurat, yang sangat penting dalam pembuatan bagian-bagian kecil.
2. Kecepatan: Proses ini cepat dan efisien, memungkinkan produksi massal dalam waktu yang singkat.
3. Kemampuan Beragam Material: *Laser cutting* dapat digunakan untuk memotong berbagai jenis material, yang memberikan fleksibilitas dalam desain.

Komponen kit bentuk molekul yang dibuat dengan *laser cutting* adalah basis model. Basis model dalam kit bentuk molekul adalah struktur dasar yang berfungsi sebagai pondasi untuk menampilkan atom dan ikatan yang membentuk molekul. Basis ini biasanya terdiri dari platform atau rangka yang dirancang untuk menampung atom-atom (yang sering kali dicetak dalam bentuk 3D) dan menghubungkan mereka dengan

ikatan. Dengan adanya basis model, pengguna dapat dengan mudah memahami dan memvisualisasikan struktur molekul serta interaksi antara atom-atom dalam suatu molekul.

Langkah-langkah pembuatan basis model dengan laser cutting sebagai berikut:

1. Desain Basis Model

- Software Desain: Gunakan software desain grafis seperti Adobe Illustrator, Inkscape, atau CorelDRAW untuk membuat desain basis model.
- Dimensi dan Bentuk: Tentukan dimensi dan bentuk dari basis model. Biasanya, basis ini berupa papan datar dengan lubang atau slot untuk memasang atom dan ikatan. Pastikan desainnya sesuai dengan ukuran atom yang akan digunakan.
- Detail Desain: Sertakan detail penting, seperti tanda pengenalan untuk setiap atom dan ikatan, jika diperlukan.

2. Persiapan File

- Simpan dalam Format yang Tepat: Setelah desain selesai, simpan file dalam format yang kompatibel dengan mesin laser cutting, seperti SVG atau DXF.
- Pengaturan Skala: Pastikan ukuran basis model sesuai dengan skala yang diinginkan untuk kit molekul.

3. Pengaturan Mesin Laser

- Pilih Material: Tentukan material yang akan digunakan untuk basis model, seperti akrilik, MDF, atau kayu. Pilih material yang cukup kuat untuk menopang atom dan ikatan.
- Atur Parameter Laser: Atur parameter pemotongan mesin laser, termasuk kekuatan laser, kecepatan pemotongan, dan frekuensi, sesuai dengan jenis material yang digunakan.

4. Proses Pemotongan

- Jalankan Mesin Laser: Muat file desain ke dalam perangkat lunak mesin laser dan mulai proses pemotongan. Pastikan untuk memantau proses untuk memastikan keamanan dan akurasi.

- **Pengawasan:** Selama pemotongan, perhatikan apakah ada masalah, seperti asap yang berlebihan atau potongan yang tidak sempurna.

5. Finishing

- **Pembersihan:** Setelah proses pemotongan selesai, bersihkan basis model dari debu dan sisa material.
- **Pengecatan atau Finishing Lain:** Jika diinginkan, lakukan finishing tambahan seperti pengecatan atau pelapisan untuk meningkatkan estetika basis model.

6. Perakitan

- **Pasang Atom dan Ikatan:** Setelah basis model siap, pasang atom-atom yang dicetak dengan 3D printing dan ikatan sesuai dengan desain molekul yang diinginkan. Pastikan semuanya terpasang dengan kokoh dan mudah diubah jika diperlukan.

Penutup

Peserta diminta duduk melingkar dan menyimpulkan materi yang telah dipelajari. Peserta mengutarakan pendapat mengenai apa yang mereka rasakan setelah pembelajaran. Peserta diminta menyiapkan desain kit bentuk molekul yang akan dicetak pada episode berikutnya.

EPISODE 5

Kompetensi yang dikembangkan

- Berpikir kritis (*critical thinking*)
- Kreativitas (*creativity*)
- Kolaborasi (*collaboration*)
- Literasi digital (*digital literacy*)
- Pemecahan masalah kompleks (*complex problem-solving*)
- Berpikiran terbuka dan toleransi (*open-mindedness and tolerance*)
- Keberlanutan (*sustainability*)
- Keterampilan teknis *3D print and design*
- Keterampilan teknis *laser cutting*

Tujuan

- Mengoperasikan 3D Printer dan mesin Laser Cutter
- Menciptakan kit pembelajaran yang interaktif untuk mengajarkan konsep-konsep kimia dengan cara yang menarik.

Peserta mencetak desain molekul dengan 3D printer. Peserta bisa mencetak desain yang sudah ada atau membuat sendiri desain molekulnya. Peserta menggunakan *laser cutter* untuk memotong bahan yang diperlukan. Peserta menguji kit bentuk molekul yang dibuat.

THE MOLECULE IS NOT ABSTRACT ANYMORE

- PEMBUATAN KIT BENTUK MOLEKUL

Pendahuluan

Peserta mempersiapkan desain 3D kit bentuk molekul untuk dicetak menggunakan 3D printer. Peserta secara berkelompok mencetak hasil desainnya sendiri. Peserta memilih bahan yang digunakan, yaitu filamen atau resin.

Inti

3D Printing

Sebelum mulai mencetak desain 3D, peserta dikenalkan dengan bahan yang digunakan terlebih dulu. Terdapat dua bahan yang bisa digunakan untuk 3D printing, yaitu filamen dan resin.

Filamen

Filamen adalah material cetak utama yang digunakan dalam teknik *Fused Deposition Modeling (FDM)* atau *Fused Filament Fabrication (FFF)*, yang merupakan salah satu metode paling umum dalam 3D printing. Filamen berbentuk kawat plastik panjang yang digulung dalam gulungan. Bentuk filamen ditunjukkan pada Gambar 47. Filamen dipanaskan di dalam extruder printer hingga mencair, lalu diterapkan secara bertahap lapis demi lapis untuk membentuk objek.



Gambar 47. Filamen

Ada tiga jenis filamen yang popular, yaitu

- *PLA (Polylactic Acid)*: Mudah digunakan, biodegradable, dan populer untuk proyek-proyek dasar karena rendah toksitas dan hasil cetak yang bagus pada suhu rendah.
- *ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)*: Lebih kuat dan tahan panas dibanding PLA, tetapi memerlukan suhu cetak yang lebih tinggi dan menghasilkan asap berbau yang lebih tajam.
- *PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)*: Kombinasi kekuatan ABS dan kemudahan penggunaan PLA, memiliki ketahanan yang baik terhadap kelembapan dan bahan kimia.
- *TPU (Thermoplastic Polyurethane)*: Filamen elastis yang fleksibel, digunakan untuk membuat objek yang membutuhkan kelenturan seperti casing ponsel atau seal.

Keunggulan dari penggunaan filamen diantaranya adalah mudah diakses dan murah, proses cetak sederhana dan dapat dilakukan pada printer desktop, dan beragam pilihan warna dan jenis material. Penggunaan filamen juga memiliki beberapa kelemahan yaitu kurang presisi pada detail halus dibanding metode resin., dan kualitas cetak bisa dipengaruhi oleh kecepatan dan suhu cetak yang tidak tepat.

Resin

Resin adalah material yang digunakan dalam metode *Stereolithography (SLA) atau Digital Light Processing (DLP)*, yang menggunakan sumber cahaya untuk memadatkan resin cair menjadi bentuk padat. Resin berbentuk cairan yang disimpan dalam wadah tertutup selama proses pencetakan. Resin ditunjukkan pada Gambar 48. Printer SLA atau DLP menggunakan laser atau proyektor untuk memadatkan lapisan tipis resin cair menjadi bentuk padat secara bertahap, dengan detail yang sangat presisi.

Ada beberapa jenis resin popular, diantaranya adalah:

- *Standard Resin*: Digunakan untuk mencetak objek dengan detail tinggi, namun bisa rapuh.
- *Tough Resin*: Lebih kuat dan tahan benturan, digunakan untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan fisik.

- *Flexible Resin*: Memberikan sifat elastis seperti karet untuk objek fleksibel.
- *Castable Resin*: Digunakan untuk pembuatan cetakan (misalnya dalam industri perhiasan).
- *Biocompatible Resin*: Digunakan untuk aplikasi medis seperti cetakan gigi atauimplan.



Gambar 48. Resin

Resin memiliki beberapa keunggulan yaitu: tingkat presisi dan detail cetak yang sangat tinggi, dan hasil akhir yang halus tanpa memerlukan banyak post-processing. Resin juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah lebih mahal dibanding filamen, membutuhkan *post-processing* (pembersihan dan curing dengan UV). bau dan bisa berbahaya jika terpapar tanpa ventilasi yang baik, sehingga memerlukan penanganan khusus. Perbandingan antara filamen dan resin diberikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan antara Filamen dengan Resin

Fitur	Filamen (FDM/FFF)	Resin (SLA/DLP)
Material	Filamen plastik	Resin cair
Detail dan Presisi	Sedang	Sangat tinggi
Kecepatan Cetak	Relatif cepat	Lebih lambat
Kualitas Hasil Cetak	Bertekstur, lapisan terlihat	Halus, detail tinggi
Biaya	Relatif murah	Lebih mahal
Penggunaan Umum	Prototipe, objek fungsional besar	Objek kecil, cetakan yang presisi

Kedua material memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, tergantung pada kebutuhan proyek cetak 3D. Jika mencari hasil cetak yang detail dan halus, resin lebih tepat, sedangkan filamen cocok untuk objek yang lebih besar dan aplikasi yang lebih umum.

Setelah memahami tentang bahan yang digunakan, peserta memilih menggunakan filamen untuk mencetak kit bentuk molekul. Peserta mencetak desain 3D kit bentuk molekul yang telah dibuat menggunakan 3D printer dan laser cutter.

Langkah-langkah 3D printing:

A. Pembuatan Model 3D (Filamen) Menggunakan Aplikasi *Flashprint*

Aturan Penggunaan :

1. Atur jenis mesin harus sesuai dengan mesin yang ingin digunakan.
2. Software flashprint memiliki tools untuk merapihkan gambar, jadi punya kemampuan repairnya.
3. Penempatan objek lebih baik di tengah area untuk pencetakannya.

Tahapan:

1. Atur mesin/alat yang ingin digunakan
2. Tambahkan objek yang sudah didesain
3. Manfaatkan tools yang ada
 - a) Lihat objek (dari sisi kanan, kiri, atas, bawah)
 - b) Menggeser objek di area cetak (disarankan untuk ditempatkan di tengah)
 - c) Merubah orientasi objek (disarankan untuk objek datar dijadikan dasar)
 - d) Memperbesar dan memperkecil ukuran, diatur secara manual.
 - e) Memotong objek (caranya di cut, dipadatkan, dipasang)
 - f) Memperbanyak objek, di bawah ada *auto layout*
 - g) Support, 3 : Nahan objek yang bersifat organik; garis : dispesifikasi untuk objek yang berupa bangun datar (kotak, bulat, dll.). Semakin banyak support, semakin banyak yang nahan. Penggunaannya selektif/kondisional saja, jika kemiringan dibawah 45 perlu *support* karena bobot objeknya bisa jatuh jika tidak diberi penahan/*support*. Disarankan untuk mencari bidang datar terbesar untuk alas. Penggunaannya juga disesuaikan dengan bahannya.
 - h) Pindahkan massa transisi, jadikan satu objek untuk tumbal

untuk bersihkan objek hasil.

B. Pencetakan 3D Menggunakan Flashforge Adventurer 3



Gambar 49. Mesin 3D Printer - Flashforge Adventurer 3

1. Sambungkan alat ke sumber listrik
2. Gunting ujung filamen hingga runcing
3. Masukan filamen ke slot sesuai dengan arah panah
4. Masukan ujung filamen ke dalam selang hingga terasa "mentok"
5. Tutup pintu samping slot filamen
6. Klik tombol on
7. Setting filamen agar masuk ke dalam nozzle
8. Tunggu pemanasan filamen hingga warnanya terlihat di selang
9. Jika filamen sudah menetes dari nozzle, berarti filamen sudah cair
10. Alat sudah siap untuk print objek (opsi ngeprint, flashdisk / wifi, samain IP Adress)
11. Setting model melalui aplikasi *Flashprint*

Opsi 1:

- Download model dari aplikasi ke flashdisk
- Sambungkan flashdisk ke 3d printer
- Klik build lalu pilih file

- Klik ok

Opsi 2:

- Connect IP Adress melalui aplikasi (samakan IP alat & IP Laptop)
- Klik ok

Hasil akhir kit bentuk molekul difoto kemudian dimasukkan ke Tabel 6.

Tabel 6. Hasil 3D Printing dan Laser Cutting

No.	Komponen	Desain	Hasil Akhir
1.	Atom		
2.	Ikatan		
3.	Basis model		

Penutup

Peserta diminta untuk duduk melingkar dan mengutarakan apa saja yang sudah dilakukan hari ini dan bagaimana perasaan mereka. Peserta diminta mempersiapkan kit bentuk molekul untuk dipresentasikan di pertemuan berikutnya.

EPISODE 6

Kompetensi yang dikembangkan

- Berpikir kritis (*critical thinking*)
- Kreativitas (*creativity*)
- Kolaborasi (*collaboration*)
- Komunikasi (*communication*)
- Literasi digital (*digital literacy*)
- Pemecahan masalah kompleks (*complex problem-solving*)
- Berpikiran terbuka dan toleransi (*open-mindedness and tolerance*)
- Keberlanutan (*sustainability*)
- Keterampilan teknis *3D print and design*
- Keterampilan teknis *laser cutting*

Tujuan

- Menciptakan kit pembelajaran yang interaktif untuk mengajarkan konsep-konsep kimia dengan cara yang menarik.
- Meningkatkan keterampilan kolaborasi dan komunikasi

Peserta mempresentasikan kit bentuk molekul yang dibuat oleh kelompoknya. Masing-masing kelompok menjelaskan kit yang dibuat, dan kelompok lain menanggapi dan memberi masukan.

THE MOLECULE KIT IS HERE

- MEMPRESENTASIKAN KIT YANG TELAH DIBUAT

Pendahuluan

Peserta mempersiapkan kit bentuk molekul yang sudah dicetak untuk diuji coba dan di evaluasi. Peserta kemudian mempresentasikan kit bentuk molekul yang sudah dibuat.

Inti

Peserta melakukan uji coba terhadap kit bentuk molekul yang sudah dibuat. Setiap kelompok memastikan semua komponen berfungsi seperti yang diharapkan. Peserta mengecek apakah ikatan dapat dimasukkan ke dalam bola atom.

Peserta melakukan evaluasi diri dan kelompok mengenai proses dan hasil proyek. Peserta mencatat kesulitan yang dialami saat mendesain dan mencetak kit bentuk molekul dan cara mengatasi kesulitan tersebut.

Setelah uji coba, setiap kelompok mempresentasikan proyek mereka, menjelaskan desain, proses, dan bagaimana kit tersebut dapat digunakan untuk mengajarkan konsep ikatan kimia dan bentuk molekul. Kelompok lain menanggapi dengan memberikan umpan balik konstruktif.

Penutup

Peserta diminta untuk duduk melingkar dan mengutarakan apa saja yang sudah dipalajari selama *workshop*. Peserta menyampaikan kesan selama *workshop* dan kompetensi yang mereka peroleh saat *workshop*. Peserta juga diminta memberikan saran untuk perbaikan *workshop*.

ANGKET AKHIR

Angket akhir digunakan untuk mengetahui persepsi peserta terkait ikatan kimia dan bentuk molekul serta *3D printing* dan *laser cutting* setelah mengikuti *workshop*. Peserta diharapkan mengisi angket setelah mengikuti *workshop*. Untuk mengisi angket, silakan scan QR Code berikut atau klik link yang diberikan



<https://bit.ly/AngketAkhirWorkshopFablab>

Peserta juga bisa mengisi angket secara manual dengan menjawab pertanyaan berikut.

Nama : _____

Email : _____

No HP : _____

Status : Guru / Mahasiswa/ Siswa

Asal Instansi : _____

Berilah tanda ceklis (✓) pada salah satu jawaban yang paling sesuai menurut Anda, yaitu:

Angka 5 berarti: Sangat setuju

Angka 4 berarti: Setuju

Angka 3 berarti: Kurang setuju

Angka 2 berarti: Tidak setuju

Angka 1 berarti: Sangat tidak setuju

No.	Pertanyaan	Skor Penilaian				
		1	2	3	4	5
1.	Saya memahami materi ikatan kimia dan bentuk molekul dengan baik					
2.	Saya pernah menggunakan kit bentuk molekul dalam pembelajaran					

No.	Pertanyaan	Skor Penilaian				
		1	2	3	4	5
3.	Kit bentuk molekul diperlukan untuk membantu memahami materi ikatan kimia dan bentuk molekul					
4.	Saya pernah membuat kit pembelajaran bentuk molekul					
5.	Saya mengenal teknologi <i>3D printing</i> dengan baik					
6.	Saya pernah menggunakan alat 3D printer					
7.	Saya mengenal teknologi laser cutting					
8.	Saya pernah menggunakan <i>laser cutter</i>					
9.	Saya memiliki kemampuan berpikir kritis					
10.	Saya adalah orang yang kreatif					
11.	Saya dapat bekerja dalam kelompok dengan baik					
12.	Saya dapat berkomunikasi dengan baik					
13.	Saya mampu menggunakan teknologi digital dengan baik					
14.	Saya dapat memecahkan masalah kompleks dengan baik					
15.	Saya adalah orang yang berpikiran terbuka dan toleran					
16.	Saya memahami tentang pentingnya keberlanjutan (<i>Sustainability</i>) dalam aspek pendidikan dan lingkungan					
17.	Saya mampu mendesain 3D dengan baik					
18.	Saya terampil menggunakan <i>3D printing</i>					
19.	Saya terampil menggunakan <i>laser cutter</i>					
20.	Saya antusias mengikuti <i>workshop Fablab</i>					

ASESMEN

Asesmen yang digunakan dalam Pelatihan

1. Angket Pemahaman

Angket pemahaman digunakan untuk mengetahui pemahaman peserta tentang materi ikatan kimia dan bentuk molekul, *3D printing*, dan *laser cutting*. Angket pemahaman diberikan di awal dan akhir *workshop*.

Link angket awal : <https://bit.ly/AngketAwalWorkshopFablab>

Link angket akhir: <https://bit.ly/AngketAkhirWorkshopFablab>

2. Angket Pelaksanaan

Angket pelaksanaan digunakan untuk mengetahui kepuasan peserta terhadap *workshop* yang diikuti. Angket digunakan sebagai bahan evaluasi dan perbaikan kegiatan *workshop* selanjutnya. Angket pelaksanaan diberikan di akhir *workshop* bersama dengan angket pemahaman dengan link berikut:

<https://bit.ly/AngketAkhirWorkshopFablab>

DAFTAR PUSTAKA

- Arsanti, M., Subiyantoro, & Hayati S, N. (2021). Tuntutan Kompetensi 4C Abad 21 dalam Pendidikan di Perguruan Tinggi untuk Menghadapi Era Society 5.0. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana*, 319–324.
- Buda, B., Nemeti, J. K., & Horvath, A. (2023). *Maker's Red Box: City of The Future*. Makerspace Kozponti Digitalis Kozossegi Alkotomuhely Kft.
- Callister, William D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*, 5th Edition (5th ed.). Wiley.
- Effendy. (2008a). *Ikatan Ionik dan Cacat-cacat pada Kristal Ionik* (2nd ed.). Bayumedia Publishing.
- Effendy. (2008b). *Teori VSEPR, Kepolaran, dan Gaya Antarmolekul* (2nd ed.). Bayumedia Publishing.
- Effendy. (2010). *Logam, Aloj, Semikonduktor, dan Superkonduktor*. Bayumedia Publishing.
- Mawardi, C. (2020). *Pengantar 3D Printing*. Polimedia.
- PISA. (2018). *Handbook PISA 2018 Global Competence Framework*. OECD.
- Silberberg, M. S., & Amateis, P. (2015). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (7th ed.). McGraw-Hill Education.