



BRIN

BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

MODUL

PERAWATAN SIKLOTRON



Fungsi Layanan
Pengembangan Kompetensi
SDM Nasional

DIREKTORAT PENGEMBANGAN KOMPETENSI

**BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL**

2024

Penanggung Jawab:

1. Edy Giri Racman Putra, Ph.D.
2. Nining Setyowati Dwi Andayani, S.E., M.M.
3. Dr. Sasa Sofyan Munawar, S.Hut., M.P.
4. Alpha Fadila Juliana Rahman, S.Pd., M.Pd.

Tim Penyusun Modul:

1. Aceu Turyana, S.Kom, M.T.
2. I Wayan Widianana, S.T.
3. Fyndi Abdi Wibowo, S.ST.
4. Syefudin Ichwan, M.T.
5. Kristianto, S.T.
6. Arvi Sekar Farenta, M.Pd.

Diterbitkan oleh:

Direktorat Pengembangan Kompetensi - BRIN
Jalan M.H. Thamrin No. 8,
Jakarta Pusat

Diterbitkan pertama kali tahun 2024

KATA PENGANTAR

Pengembangan kompetensi merupakan kebutuhan bagi setiap Sumber Daya Manusia (SDM) dalam menjalankan tugas dan fungsinya sesuai dengan penugasan yang diberikan. Pengembangan kompetensi bagi SDM harus mampu memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan kualitas hasil kerja secara berkesinambungan, lebih lanjutnya bagi kepentingan bangsa dan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Pengembangan kompetensi menjadi bagian tidak terpisahkan dari pengembangan karier setiap SDM yang salah satunya dapat dilaksanakan melalui pelatihan-pelatihan teknis sesuai bidang tertentu.

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2021, Badan Riset dan Inovasi Nasional adalah lembaga pemerintah yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Presiden dalam menyelenggarakan penelitian, pengembangan, pengkajian, dan penerapan, serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantariksaan yang terintegrasi. Dalam pengembangan kompetensi, Direktorat Pengembangan Kompetensi, Deputi Bidang Sumber Daya Manusia Iptek BRIN bertanggung jawab dalam penyelenggaraan pengembangan kompetensi melalui beberapa tahapan penyiapan pedoman pelatihan, fasilitator, modul, bahan ajar, *learning management system* (LMS) dan kelengkapan pelatihan lainnya.

Sejak Tahun 2024, Direktorat Pengembangan Kompetensi, Deputi Bidang Sumber Daya Manusia Iptek BRIN telah memberikan lisensi pedoman dan penyelenggaraan pelatihan kepada Lembaga Pelatihan Swasta (LPS) sesuai dengan ketentuan yang tertuang dalam perjanjian lisensi.

Direktorat Pengembangan Kompetensi atau Lembaga Pelatihan Swasta menggunakan modul sebagai salah satu dokumen penunjang dalam penyelenggaraan pelatihan. Modul ini berfungsi sebagai media transformasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja kepada peserta pelatihan untuk mencapai kompetensi tertentu.

Kami mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT, atas berkat rahmat-Nya, modul **Pelatihan Teknis Operator dan Petugas Perawatan Produksi Radiositop**

Radiofarmaka dari Siklotron yang berjudul **Perawatan Siklotron** dapat diselesaikan tepat waktu. Kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan modul ini.

Kami berharap modul ini dapat memberikan manfaat dan berkontribusi dalam meningkatkan dan mengembangkan kompetensi SDM secara luas. Kami terbuka atas segala saran dan masukan untuk peningkatan kualitas modul kedepan.

Jakarta, 20 Desember 2023

Deputi Bidang Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
Badan Riset dan Inovasi Nasional



Edy Giri Rachman Putra, Ph.D.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi Singkat	1
B. Alokasi Waktu	1
C. Tujuan Pembelajaran	1
D. Materi Pokok dan Sub Materi Pokok	2
 MATERI POKOK 1: MANAJEMEN PERAWATAN SIKLOTRON	 3
A. Pengelolaan Manajemen Perawatan Preventif Siklotron	6
B. Penjadwalan Perawatan Preventif Siklotron	8
C. Rangkuman	12
D. Evaluasi	13
 MATERI POKOK 2: PERAWATAN SUB SISTEM SIKLOTRON	 14
A. Perawatan Sub-Sistem Siklotron	15
B. Perawatan Perbaikan Dan Penggantian Komponen Sub Sistem Siklotron	35
C. Overhaul	63
D. Rangkuman	67
E. Evaluasi	69
 MATERI POKOK 3: PERAWATAN FASILITAS PENUNJANG SILOTRON	 71
A. Perawatan Fasilitas Penunjang	71
B. Sistem Tata Udara/ HVAC	80
C. Sistem Tata Udara Cleanroom	91
D. Rangkuman	98
E. Evaluasi	99

MATERI POKOK 4: PRAKTIKUM PERAWATAN KOMPONEN SIKLOTRON101

A. Praktikum Perawatan Sumber Ion	101
B. Praktikum Monitoring Kesiapan Fasilitas Siklotron	110
C. Praktikum Identifikasi Komponen	112
D. Rangkuman	113
E. Evaluasi	113

MATERI POKOK 5: PRAKTIKUM FASILITAS PENUNJANG115

A. Praktikum Perawatan Fasilitas Penunjang	115
B. Rangkuman	119
C. Evaluasi	119

DAFTAR PUSTAKA121**LAMPIRAN-LAMPIRAN**123**Lampiran 1. Kunci Jawaban Evaluasi**124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Posisi Koneksi Kelistrikan Magnet Utama	15
Gambar 2. Manifold Sistem Pendingin Siklotron CS-30	16
Gambar 3. Bagian bagian Power Supply Magnet	16
Gambar 4. Papan Kontrol Harmonik koil & papan control DVM	17
Gambar 5. Skema Pengukuran untuk mengetahui standar Tahanan/Resistan Harmonic Coil (standar pabrik)	17
Gambar 6. Sumber ion tipe PIG di CS-30	18
Gambar 7. Sumber Ion dari beberapa siklotron CS-30, CTI (B) Cyclone 18, IBA (C) Eclips 11, Siemens	19
Gambar 8. Rangkaian Pembangkit RF	21
Gambar 9. Komponen Induktor	21
Gambar 10. Dee's	22
Gambar 11. Power Supply Sistem Radiofrekuensi	22
Gambar 12. Monitor Berkas	23
Gambar 13. Head BeamProbe	24
Gambar 14. Ekstraktor	25
Gambar 15. Striper	25
Gambar 16. Pompa Vakum Mekanik	27
Gambar 17. Pompa Vakum Difusi	27
Gambar 18. System Pompa Cryogenic	28
Gambar 19. Combo dan X-Y Steering Magnet	30
Gambar 20. Quadrouple Doblet	30
Gambar 21. Beam Stop and Beam Profile System	31
Gambar 22. Switching Magnet	32
Gambar 23. Posisi Baut Kelistrikan	33
Gambar 24. Sistem Pendingin	34
Gambar 25. Ruang Katoda	37
Gambar 26. Katoda terpasang	37
Gambar 27. Anoda	38

Gambar 28. Seal gland	38
Gambar 29. Pompa vakum rotary	40
Gambar 30. Skema kerja pompa rotary	40
Gambar 31. Pompa vakum difusi	42
Gambar 32. Pompa Cryogenic	45
Gambar 33. Pompa Turbo Molekuler	47
Gambar 34. Lintasan partikel melewati Dee	49
Gambar 35. Lintasan partikel (kiri), siklotron (kanan)	50
Gambar 36. Skema sub sistem RF generator	51
Gambar 37. Ekstraksi berkas	51
Gambar 38. Sub sistem beam transport	54
Gambar 39. Solid Target Holder	59
Gambar 40. Solid target station	59
Gambar 41. Solid Target Transfer	60
Gambar 42. Solid Target Processing	60
Gambar 43. Liquid Target Holder	60
Gambar 44. Dual Target Holder	61
Gambar 45. Carousel Target	61
Gambar 46. Loading/unloading proses F-18	61
Gambar 47. FDG dan F-18	61
Gambar 48. Skematik Aktivasi Target Gas	62
Gambar 49. Holder Target Gas	62
Gambar 50. Gas Target Station	62
Gambar 51. Hotcell gd-11 ITRR DPFK BRIN	73
Gambar 52. Kondisi di dalam Hotcell	73
Gambar 53. Fasilitas Mini Cell dan Glove Box	73
Gambar 54. Hotcell gd 13 ITRR-DPFK-BRIN	78
Gambar 55. Interface Transfer Cask	78
Gambar 56. Sistem Tata Udara	80
Gambar 57. Chiller	82
Gambar 58. AHU	83
Gambar 59. Tipe Filter	84
Gambar 60. Ducting	85

Gambar 61. Exhaust Fan	85
Gambar 62. Sistem full fresh-air	88
Gambar 63. Sistem Resirkulasi	88
Gambar 64. Sistem Ekstraksi/Exhaust	89
Gambar 65. Sistem Tata Udara Cleanroom	92
Gambar 66. AHU Cleanroom	96
Gambar 67. Skema Bagian Depan Sumber Ion Tipe PIG	103
Gambar 68. Sumber Ion Tipe PIG yang Digunakan di Beberapa Siklotron	104
Gambar 69. Dudukan Sumber Ion pada Tangki Siklotron	105
Gambar 70. Posisi Baut Pemegang Gir Penggerak Sumber Ion	105
Gambar 71. Posisi Baut Pemegang Batang Sumber Ion	106
Gambar 72. Kepala Sumber Ion	106
Gambar 73. Batang Pemegang Katode Setelah Dilepas dari Selongsong Sumber Ion	106
Gambar 74. Dudukan Batang Pemegang Katode dan Sambungan Pendingin	107
Gambar 75. Katode Sumber Ion	107
Gambar 76. Anode Sumber Ion	107
Gambar 77. O-ring Seal gland	107
Gambar 78. Seal Gland	107
Gambar 79. Isolator Batang Keramik Pemegang Katode	108
Gambar 80. Seal Gland dan Isolator Keramik Batang Pemegang Katode	108
Gambar 81. Pemasangan Seal Gland dan Isolator Batang Pemegang Katode	108
Gambar 82. Tempat Pemasangan Katode dan Anode Sumber Ion	108
Gambar 83. Bodi dan Batang Penggerak Sumber Ion	109
Gambar 84. Komponen dan Penggerak Sumber Ion	109
Gambar 85. Clip, Gear, dan Saluran Gas dan Air Pendingin	109
Gambar 86. Sumber Ion Setelah Dirangkai dan Siap Dipasang Pada Tangki Siklotron	109
Gambar 87. Rumah Sumber Ion	113

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis Perawatan	5
Tabel 2. Jadwal Perawatan Sub Sistem Air Pendingin	8
Tabel 3. Jadwal Perawatan Sub Sistem Udara Bertekanan	9
Tabel 4. Jadwal Perawatan Sub Sistem Vakum	9
Tabel 5. Jadwal Perawatan Sub Sistem Magnet	10
Tabel 6. Jadwal Perawatan Sub Sistem Radiofrekuensi	10
Tabel 7. Jadwal Perawatan Sub Sistem Sumber Ion	11
Tabel 8. Jadwal Perawatan Sub Sistem Extractor	11
Tabel 9. Jadwal Perawatan Sub Sistem Kontrol	11
Tabel 10. Jadwal Perawatan Sub Sistem Kabinet Distribusi dan Catu Daya	12
Tabel 11. Permasalahan umum pada sub sistem magnet	17
Tabel 12. Ruang Lingkup Kegiatan Pemeliharaan, Perawatan, dan Penggantian Komponen sumber Ion Type PIG Cyclotron CS-30	19
Tabel 13. Masalah umum yang terjadi pada sumber ion	20
Tabel 14. Masalah umum yang terjadi pada sub sistem RF	23
Tabel 15. Masalah umum pada sub sistem esktraksi berkas	25
Tabel 16. Permasalahan umum pada pompa vakum rotary	27
Tabel 17. Permasalahan umum pada pompa vakum difusi	28
Tabel 18. Permasalahan yang umum pada pompa vakum cryogenic	29
Tabel 19. Permasalahan yang umum pada transfer berkas	33
Tabel 20. Permasalahan umum pada sistem pendingin	35
Tabel 21. Klasifikasi berdasarkan ISO 14644-1	95
Tabel 22. Klasifikasi berdasarkan EU-GMP	95
Tabel 23. Formulir Temperatur dan Kelembapan	110
Tabel 24. Formulir Kondisi Sub Sistem Pendingin	111
Tabel 25. Formulir Monitoring Kesiapan Fasilitas Siklotron CS-30	111

PENDAHULUAN

A. Deskripsi Singkat

Mata diklat ini memiliki lima materi pokok. Materi pokok pertama menjelaskan tentang perawatan pada sub system siklotron yang terdiri dari sub system magnet utama, sumber ion, radio frekuensi, system monitor dan ekstraktor, vakum, dan system pendingin siklotron. Manajemen perawatan siklotron merupakan materi pokok selanjutnya yang menjelaskan tentang pengelolaan dan penjadwalan perawatan. Pada materi pokok ketiga dijelaskan tentang perawatan fasilitas penunjang yang meliputi hotcell, Cleanroom, HVAC, Sistem kelistrikan, dan system keselamatan siklotron. Dua materi pokok selanjutnya merupakan materi praktikum tentang perawatan sub system siklotron dan perawatan fasilitas penunjang.

B. Alokasi Waktu

21 Jam Pembelajaran @45 menit.

C. Tujuan Pembelajaran

1. Hasil Belajar

Hasil belajar yang diharapkan adalah peserta memiliki kompetensi untuk menjelaskan kegiatan perawatan pada sub system siklotron dan beberapa fasilitas penunjang produksi radioisotope dan radiofarmaka dari siklotron.

2. Indikator Hasil Belajar

Setelah selesai pembelajaran diharapkan peserta mampu:

- a. menjelaskan aktivitas utama dan macam-macam program perawatan prefentif siklotron dengan benar;
- b. menjelaskan langkah-langkah dalam menyusun perawatan prefentif siklotron dengan teliti;
- c. menjelaskan jenis perawatan komponen siklotron dengan tepat;
- d. mempraktikkan jenis perawatan fasilitas penunjang siklotron yang telah ditetapkan;

- e. mempraktikkan perawatan komponen siklotron sesuai prosedur yang telah ditetapkan;
- f. mempraktikkan perawatan fasilitas penunjang siklotron sesuai prosedur yang telah ditetapkan.

D. Materi Pokok dan Sub Materi Pokok

Mata pelatihan ini terdiri dari lima materi pokok, yaitu:

- 1. Manajemen Perawatan Siklotron
 - a. Pengelolaan Perawatan Preventif Siklotron
 - b. Penjadwalan Perawatan Preventif Siklotron
- 2. Perawatan Sub-Sistem Siklotron
 - a. Prosedur Perawatan Sub-Sistem
 - b. Perawatan Perbaikan Dan Penggantian Komponen Sub Sistem Siklotron
 - c. Overhaul
- 3. Perawatan Fasilitas Penunjang Siklotron
 - a. Perawatan Fasilitas Penunjang
 - b. Sistem Keselamatan Siklotron
 - c. Sistem Tata Udara Cleanroom
- 4. Praktikum Perawatan Komponen Siklotron
 - a. Praktikum Perawatan Sumber Ion
 - b. Praktikum Monitoring Kesiapan Fasilitas Siklotron
 - c. Praktikum Identifikasi Komponen
- 5. Praktikum Perawatan Fasilitas Penunjang Siklotron
 - a. Praktikum Perawatan Fasilitas Penunjang

MATERI POKOK 1:

MANAJEMEN PERAWATAN SIKLOTRON

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu:

menjelaskan aktivitas utama dan macam-macam program perawatan preventif siklotron dengan benar;

menjelaskan langkah-langkah dalam menyusun perawatan preventif siklotron dengan teliti.

Pengelolaan manajemen perawatan siklotron sangat penting untuk dipelajari agar pemeliharaan, perawatan dan perbaikan siklotron dapat dilakukan secara maksimal, sehingga diharapkan pemanfaatan siklotron juga akan maksimal. Dalam materi ini hanya dibatasi pada manajemen perawatan mesin siklotron saja. Sedangkan yang menyangkut dengan fasilitas yang menunjang mesin siklotron akan dibahas pada materi lain.

Pengertian dari manajemen perawatan adalah pengelolaan pekerjaan perawatan dengan melalui suatu proses perencanaan, pengorganisasian serta pengendalian perawatan untuk mempertahankan performa bagi fasilitas yang dilakukan perawatan. Manajemen perawatan memiliki beberapa tujuan, diantaranya:

1. Meningkatkan keandalan aset.

Dengan melakukan perawatan yang tepat, aset dan peralatan dapat beroperasi lebih andal dan mengurangi risiko kegagalan.

2. Mengurangi biaya operasional.

Melalui perawatan preventif dan prediktif, perusahaan dapat mengurangi biaya perbaikan yang lebih besar dan biaya yang berkaitan dengan downtime.

3. Meningkatkan umur pakai aset.

Dengan pemeliharaan yang baik, umur pakai peralatan dapat diperpanjang, menghasilkan penghematan biaya dalam jangka panjang.

4. Meningkatkan keselamatan.

Manajemen perawatan membantu memastikan bahwa peralatan beroperasi dalam

kondisi aman, sehingga mengurangi risiko kecelakaan atau insiden.

5. Mendukung kepatuhan regulasi.

Banyak industri memiliki regulasi yang mengharuskan pemeliharaan tertentu untuk memenuhi standar keselamatan dan kualitas.

Mesin siklotron termasuk fasilitas yang dalam pembuatannya menggunakan teknologi tinggi. Maka dari itu, diperlukan suatu langkah-langkah perawatan yang baik dan rutin. Dengan melakukan perawatan siklotron secara baik dan rutin maka akan diperoleh beberapa keuntungan antara lain: menjamin kesiapan pengoperasian mesin siklotron secara optimal, menjamin keselamatan kerja bagi setiap personil yang menggunakan mesin siklotron, berguna untuk membuat evaluasi dalam perawatan agar diperoleh hasil perawatan yang lebih baik, membantu menciptakan kondisi kerja yang aman dan tertib, meningkatkan keterampilan para personil dalam hal melakukan perawatan, menghemat biaya perbaikan siklotron dan menghemat pengeluaran dari kerusakan yang lebih parah. Mengingat banyaknya manfaat dari manajemen perawatan tersebut, maka sudah sepantasnya hal ini menjadi perhatian yang tidak bisa dianggap sepele. Selain sangat bagus untuk menjaga kesiapan operasional siklotron, perawatan yang dilakukan secara rutin akan membantu mengurangi angka kecelakaan kerja yang disebabkan oleh komponen yang bermasalah.

Secara teori, ada beberapa macam jenis perawatan yang bisa diterapkan dalam melakukan perawatan siklotron. Jenis perawatan itu diantaranya adalah:

1. Perawatan preventif.

Perawatan preventif adalah tindakan pemeliharaan yang dilakukan secara terencana dan berkala untuk mencegah terjadinya kerusakan atau gangguan pada suatu peralatan, sistem, atau fasilitas sebelum masalah muncul. Tujuan utama perawatan preventif adalah meminimalkan risiko kerusakan mendadak, menjaga kinerja optimal, serta memperpanjang umur pakai aset. Perawatan preventif berfokus pada upaya pencegahan berdasarkan jadwal atau kondisi tertentu.

2. Perawatan korektif.

Perawatan korektif adalah tindakan pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki kerusakan atau gangguan yang telah terjadi pada suatu alat, mesin, sistem, atau fasilitas. Tujuan utamanya adalah mengembalikan fungsi aset tersebut

agar dapat beroperasi secara normal. Perawatan korektif biasanya dilakukan setelah suatu masalah atau kerusakan ditemukan, baik melalui inspeksi rutin, laporan pengguna, atau saat peralatan berhenti berfungsi.

3. Perawatan berjalan.

Perawatan berjalan adalah jenis perawatan yang dilakukan saat peralatan atau mesin masih dalam kondisi beroperasi tanpa perlu menghentikan proses kerja. Tujuannya adalah menjaga kinerja alat tetap optimal dengan cara menangani masalah kecil atau melakukan tindakan pencegahan secara langsung selama mesin digunakan. Perawatan ini sering diterapkan pada sistem atau proses yang tidak memungkinkan untuk dihentikan, seperti di industri manufaktur, pembangkit listrik, atau layanan transportasi.

4. Perawatan berhenti.

Perawatan berhenti adalah jenis perawatan yang dilakukan ketika suatu mesin, peralatan, atau sistem dihentikan sepenuhnya dari operasinya. Tujuan utama dari perawatan berhenti adalah melakukan pemeriksaan, perbaikan, penggantian, atau pemeliharaan menyeluruh yang tidak bisa dilakukan saat peralatan sedang beroperasi. Biasanya, perawatan ini direncanakan dengan baik untuk meminimalkan dampak pada operasional.

5. Perawatan darurat.

Perawatan darurat adalah jenis pemeliharaan yang dilakukan dalam situasi mendesak untuk menangani kerusakan atau gangguan yang terjadi secara tiba-tiba dan mengancam kelangsungan operasi. Perawatan ini biasanya dilakukan tanpa perencanaan sebelumnya dan sering kali membutuhkan tindakan cepat dan tepat untuk mengatasi masalah yang dapat mengganggu produktivitas, membahayakan keselamatan, atau menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada peralatan atau sistem.

Secara sederhana perbedaan setiap jenis perawatan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Jenis Perawatan

Aspek	Preventif	Korektif	Berjalan	Berhenti	Darurat
Waktu	Sebelum terjadi kerusakan	Setelah kerusakan terjadi	Saat alat sedang beroperasi	Saat alat dihentikan sepenuhnya	Setelah kerusakan terjadi
Fokus	Pencegahan	Memperbaiki	Masalah	Perbaikan atau	Menangani

	kerusakan	kerusakan	kecil dan ringan	dan penggantian besar	kerusakan mendadak yang mengancam operasional
Downtime	Mengurangi downtime melalui pencegahan	Downtime terjadi saat perbaikan	Tidak ada	Downtime signifikan karena penghentian operasional.	Meminimalkan downtime dengan perbaikan cepat

Dari lima jenis perawatan tersebut, hanya perawatan preventif yang sifatnya bisa terjadwal. Sedang yang lain merupakan perawatan yang dilakukan ketika terjadi kerusakan. Apabila perawatan preventif dilakukan dengan baik dan rutin, maka jenis perawatan lain diharapkan tidak sering terjadi atau bahkan tidak terjadi sama sekali karena kondisi fasilitas siklotron selalu dalam keadaan baik.

A. Pengelolaan Perawatan Preventif Siklotron

Ada tiga aktivitas utama dalam perawatan preventif yang mengacu pada konsep manajemen modern. Tiga aktivitas itu adalah:

1. Aktivitas perencanaan.
2. Aktivitas pelaksanaan.
3. Aktivitas evaluasi dan analisa.

Ketiga aktivitas tersebut dikendalikan oleh suatu bagian yang dikenal dengan Maintenance Planning Control (MPC).

Jika dijabarkan lebih detail, 3 aktivitas utama tadi dapat dijelaskan dalam tugas-tugas yang diemban oleh MPC, yaitu:

1. Mengidentifikasi semua peralatan.
2. Menyusun dokumen-dokumen pemeliharaan.
3. Menyusun program-program pemeliharaan.
4. Mendistribusi pelaksanaan program pemeliharaan.
5. Mengumpulkan data.
6. Menganalisa data.
7. Terlibat dengan pekerjaan kontraktor luar.

Pada aktivitas perencanaan, segala sesuatu yang menyangkut program perawatan

disusun dan dibuatkan jadwal. Program perawatan yang disusun dapat dibagi menjadi tiga macam program, yaitu:

1. Program jangka pendek meliputi perawatan harian, mingguan, bulanan.
2. Program jangka menengah meliputi perawatan tiga bulanan (triwulan), enam bulanan.
3. Program jangka panjang meliputi perawatan tahunan.

Setelah program perawatan disusun, maka dilaksanakanlah semua jadwal program tersebut yang meliputi:

1. Inspeksi melakukan pemeriksaan dan mencatat kondisi alat.
2. Lihat, rasa, dengar menggunakan indera sebagai alat pertama mendeteksi kerusakan.
3. Perawatan berjalan dan perawatan berhenti melakukan perawatan dalam kondisi berjalan dan berhenti.
4. Penggantian komponen melakukan penggantian komponen yang rusak.

Setelah menyusun perencanaan dan melaksanakan perawatan, tahap terakhir adalah evaluasi dan analisa atas 2 tahapan sebelumnya. Beberapa hal yang dianalisa yaitu:

1. Tenaga kerja/personil.
2. Pemeliharaan darurat.
3. Peralatan.

Hasil kegiatan evaluasi dan analisa ini berguna untuk pengambilan keputusan manajerial diantaranya:

1. Penetapan peringkat pemeliharaan peralatan.
2. Perbaikan, overhaul, modifikasi, desain ulang.
3. Penggantian peralatan.
4. Penyusunan anggaran.
5. Perbaikan manajemen.

B. Penjadwalan Perawatan Preventif Siklotron

Untuk mempermudah dalam membuat penjadwalan perawatan preventif siklotron, langkah-langkah berikut dapat dijadikan acuan:

1. Membagi sistem siklotron menjadi beberapa bagian sub sistem.

Contoh pembagian sistem siklotron menjadi beberapa sub sistem diantaranya sub sistem air pendingin, sub sistem udara bertekanan, sub sistem vakum, sub sistem magnet, sub sistem radiofrekuensi, sub sistem sumber ion, sub sistem extractor, sub sistem control.

2. Menyusun langkah pengamatan alat ukur yang ada di setiap sub sistem.

Contohnya mengamati tekanan air, tekanan udara, konduktivitas air, suhu, level air, level oli.

3. Menyusun langkah pengamatan kondisi yang bisa dilihat, dicium atau didengar.

Contohnya mengamati kebocoran air, kebocoran udara, benda terbakar, suara yang ga seharusnya.

4. Menyusun langkah penggantian bahan atau komponen.

Contohnya mengganti oli, menambah air, mengganti o-ring.

5. Menentukan rekomendasi interval pengamatan.

Contohnya harian, bulanan, 3 bulan, 6 bulan, 1 tahun.

Sebagai contoh dari penjadwalan perawatan preventif dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Jadwal Perawatan Sub Sistem Air Pendingin

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Sub sistem air pendingin	Catat konduktivitas, suhu, tekanan inlet/outlet air. Jika suhu atau tekanan meningkat, periksa adanya masalah pemanasan.					
	Periksa level air pendingin pada tangki air.					
	Periksa pipa saluran dan perlengkapannya.					

Periksa pompa air untuk mengetahui apakah ada suara bising pada bantalan. Bersihkan dan lumasi jika perlu.
Periksa segel mekanis dan ganti jika perlu.
Sistem distribusi air.
Ubah kolom deionisasi ketika konduktivitas menjadi lebih besar dari 5 uS.
Ganti pelumas pada pompa air.
Periksa dan bersihkan pelat penukar panas.

Dari tabel dapat dilihat, kegiatan perawatan sudah disusun berdasarkan pengamatan alat ukur (konduktivitas), pengamatan melalui penglihatan, penciuman dan pendengaran (pemeriksaan suara bising), penggantian bahan (ganti pelumas), menentukan rekomendasi interval (harian, 1 bulan, 3 bulan, 6 bulan, 1 tahun). Dalam satu jadwal perawatan, tidak perlu memaksakan untuk memasukkan semua langkah penyusunan dalam kegiatan perawatan. Cukup sesuai dengan kondisi yang ada pada sub sistem saja.

Contoh hasil penyusunan jadwal perawatan lainnya dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 3. Jadwal Perawatan Sub Sistem Udara Bertekanan

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Udara bertekanan	Periksa tekanan udara pada manifold distribusi udara.					
	Kebocoran air dari sistem.					
	Periksa filter dan pengering.					
	Periksa dan tambahkan oli bila perlu.					

Tabel 4. Jadwal Perawatan Sub Sistem Vakum

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya

Sub sistem vakum	Tetapkan dasar kevakuman dengan dan tanpa aliran gas.
	Bersihkan kepala pirani gauge.
	Periksa kualitas oli pompa difusi (warna) dan level oli. Tambahkan oli jika perlu.
	Ganti seal viton corong pengisian pompa difusi.
	Periksa filter oil mist pompa primer. Kuras oli jika mencapai tanda setengah pada pengukur level.
	Periksa level oli pada pompa primer dan tambahkan oli jika level oli tidak berada pada antara batas atas dan bawah.
	Periksa kalibrasi control vakum.
	Ganti oli pompa difusi.
	Periksa fungsi operasi semua valve.
	Ganti oli pompa primer.

Tabel 5. Jadwal Perawatan Sub Sistem Magnet

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Sub sistem magnet	Periksa dan catat pembacaan tegangan dan arus catu daya magnet.					
	Periksa kumparan dan sakelar termal magnet.					
	Periksa level oli di unit hidrolik.					
	Periksa pengukur filter oli unit hidrolik.					
	Periksa kebocoran oli pada silinder siklotron dan pada unit daya.					

Tabel 6. Jadwal Perawatan Sub Sistem Radiofrekuensi

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Sub sistem radiofrekuensi	Catat penguat daya akhir frekuensi radio yang dipantulkan.					

	Periksa puller central region, ganti bila perlu.
	Periksa rongga radiofrekuensi untuk melihat adanya lengkungan dan titik benturan, kencangkan/ganti kontak radiofrekuensi bila perlu.
	Periksa dan bersihkan kabinet catu daya, kipas, dan filter radiofrekuensi.
	Periksa dan sejajarkan kembali dee dan central region.

Tabel 7. Jadwal Perawatan Sub Sistem Sumber Ion

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Sumber ion	Periksa pasokan gas.					
	Plot arus catu daya sumber ion versus arus probe internal beam. Bandingkan dengan plot sebelumnya.					
	Periksa aliran pasokan gas sumber ion dan sesuaikan untuk mendapatkan keluaran beam terbaik.					
	Periksa sumber ion, ganti katoda dan bersihkan chimney jika perlu.					
	Uji kebocoran saluran gas sumber ion. Perbaiki kebocoran jika perlu.					

Tabel 8. Jadwal Perawatan Sub Sistem Extractor

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Extractor	Catat nilai arus stripper, arus target, dan rasio arus stripper terhadap arus target untuk setiap proses produksi tertentu.					Each production
	Periksa penyimpangan.					
	Periksa foil stripper. Ganti sesuai kebutuhan.					

Tabel 9. Jadwal Perawatan Sub Sistem Kontrol

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Sub sistem kontrol	Periksa dan bersihkan PC, monitor, keyboard, dan kipas dan filter PLC.					
	Periksa baterai sistem cadangan.					2 years

Tabel 10. Jadwal Perawatan Sub Sistem Kabinet Distribusi dan Catu Daya

Sub Sistem	Kegiatan	Rekomendasi Interval				
		Harian	3 Bulan	6 Bulan	1 Tahun	Lainnya
Kabinet distribusi daya dan catu daya	Bersihkan catu daya dengan penyedot debu.					
	Periksa semua kabel.					
	Ganti filter udara pada kabinet catu daya.					
	Periksa kabinet distribusi daya utama. Gunakan thermal probe untuk memeriksa titik panas. Periksa bau terbakar.					

C. Rangkuman

Manajemen perawatan memiliki beberapa tujuan, diantaranya:

1. Meningkatkan keandalan aset.
2. Mengurangi biaya operasional.
3. Meningkatkan umur pakai aset.
4. Meningkatkan keselamatan.
5. Mendukung kepatuhan regulasi.

Jenis perawatan siklotron diantaranya adalah:

1. Perawatan preventif.
2. Perawatan korektif.
3. Perawatan berjalan.
4. Perawatan berhenti.
5. Perawatan darurat.

Tiga aktivitas utama dalam manajemen perawatan preventif adalah:

1. Aktivitas perencanaan.
2. Aktivitas pelaksanaan.
3. Aktivitas evaluasi dan analisa.

Tiga macam program perawatan preventif, yaitu:

1. Program jangka pendek.
2. Program jangka menengah.
3. Program jangka panjang.

Langkah-langkah menyusun jadwal perawatan preventif siklotron:

1. Membagi sistem siklotron menjadi beberapa bagian sub sistem.
2. Menyusun langkah pengamatan alat ukur yang ada di setiap sub sistem.
3. Menyusun langkah pengamatan kondisi yang bisa dilihat, dicium atau didengar.
4. Menyusun langkah penggantian bahan atau komponen.
5. Menentukan rekomendasi interval pengamatan.

D. Evaluasi

1. Jelaskan tujuan dari manajemen perawatan.
2. Jelaskan jenis-jenis perawatan.
3. Jelaskan tiga aktivitas utama dalam manajemen perawatan preventif.
4. Jelaskan tiga program perawatan preventif.
5. Jelaskan langkah-langkah dalam menyusun jadwal perawatan preventif siklotron.

Catatan :

Seluruh tabel dalam materi pokok ini yang tidak mencantumkan sumbernya merupakan milik ITRR DPFK BRIN. Mohon digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

MATERI POKOK 2:

PERAWATAN SUB-SISTEM SIKLOTRON

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu menjelaskan jenis perawatan komponen siklotron dengan tepat.

Di Indonesia, terdapat beberapa siklotron yang telah terpasang selain siklotron CS-30 yang diproduksi CTI yang berada di Kawasan Sains Teknologi B.J Habibie (KST BJ Habibie) di Serpong. Salah satunya adalah siklotron Eclips yang diproduksi oleh perusahaan Siemens dan dipasang di Rumah Sakit Kanker Dharmais (RSKD). Selain itu, ada juga siklotron Cyclone buatan IBA yang terpasang di MRCCC Siloam Hospital dan beberapa siklotron di rumah sakit lainnya. Meskipun model, bentuk, dan ukurannya berbeda-beda, tetapi prinsip kerja dari siklotron-siklotron tersebut tetap sama.

Dalam modul ini akan dijelaskan perawatan siklotron berbasis siklotron CS-30 yang berada di kawasan sains teknologi (KST) B.J Habibie di Serpong dengan pertimbangan bahwa CS-30 merupakan siklotron riset dengan daya yang cukup besar yaitu 30 MeV yang dioperasikan secara manual (*non computerize*) dan dilengkapi dengan dukungan dokumen pabrikan yang lengkap sehingga akan lebih mudah dipelajari tiap sub sistemnya.

Prosedur perawatan siklotron adalah serangkaian tindakan sistematis yang dirancang untuk memastikan bahwa semua komponen siklotron berfungsi secara optimal, aman, dan efisien. Prosedur ini mencakup langkah-langkah preventif, inspeksi, perbaikan minor, hingga penggantian komponen utama.

Tujuan utama perawatan siklotron adalah untuk meminimalkan downtime, mencegah kerusakan mendadak, dan memperpanjang masa operasional siklotron.

Jenis perawatan meliputi:

1.

P

erawatan Preventif (*Preventive Maintenance*)

- | | |
|--|---|
| 2. | T |
| indakan perawatan yang dilakukan secara rutin untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi. | |
| 3. | P |
| erawatan Korektif (<i>Corrective Maintenance</i>) | |
| 4. | P |
| erbaikan yang dilakukan setelah terdeteksi adanya kerusakan atau penurunan performa. | |
| 5. | P |
| erawatan Prediktif (<i>Predictive Maintenance</i>) | |
| 6. | T |
| indakan perawatan berdasarkan analisis kondisi komponen menggunakan data real-time. | |
| 7. | P |
| erawatan Darurat (<i>Emergency Maintenance</i>) | |
| 8. | P |
| erbaikan yang dilakukan segera setelah terjadi kerusakan mendadak yang mengganggu operasi siklotron. | |

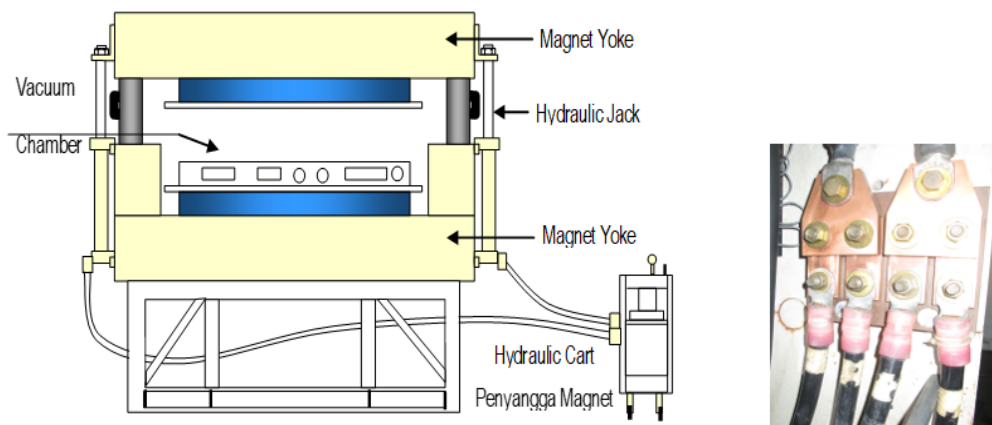
A.	P
----	---

ERAWATAN SUB SISTEM SIKLOTRON

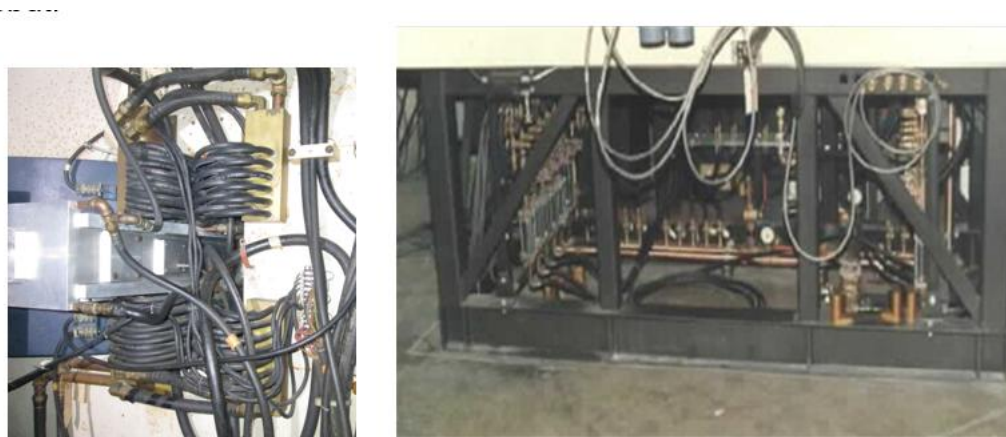
1. SUB SISTEM MAGNET UTAMA

Pemeliharaan sub sstem magnet utama siklotron dilakukan secara periodic dengan mengamati kondisi pada system koneksi kelistrikan dan system pendingin. Pada system kelistrikan dilakukan pembersihan debu dan kotoran lain yang menempel pada jalur kabel terbuka dan koneksi kelistrikan dikencangkan kembali jika ditemukan ketidak normalan. Bersihkan jalur kelistrikan dari karat dan korosi .

Pada system Pendingin magnet utama hal penting yang harus diperhatikan dalam pemeliharaan adalah inspeksi bulanan pada sambungan pipa dan sambungan selang serta manifold untuk mengetahui jika ada kebocoran pada jalur jalur tersebut.



Gambar 1. Posisi Koneksi Kelistrikan Magnet Utama



Gambar 2. Manifold Sistem Pendingin Siklotron CS-30

a. ***Power Supply Magnet***

Dalam perawatan rutin saringan saluran pendingin harus dibersihkan atau diganti secara periodic jika sudah melewati batas pakainya. Dengan udara terkompresi bersihkan power supply cabinet dan komponen kelistrikan yang ada di dalamnya untuk menghilangkan debu dan kotoran atau partikel lainnya. Koneksi kelistrikan diperiksa kekencangannya dan secara kontinyu dilakukan pengukuran hubungan system kelistrikan menggunakan **MEGGER** untuk mengetahui pentanahannya. Tahanan kumparan transformator harus memenuhi insulasi yang diijinkan.

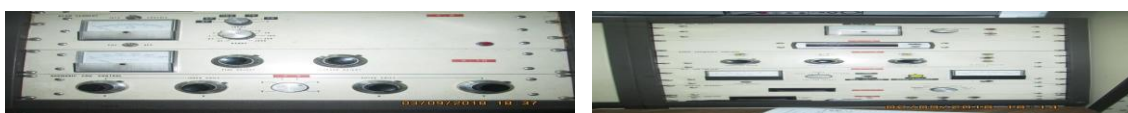


Gambar 3. Bagian bagian Power Supply Magnet

b. ***Harmonic Coil***

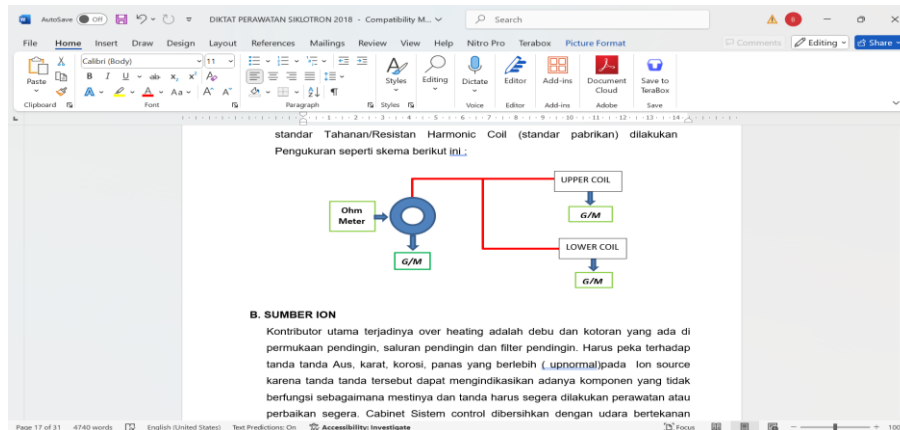
Pemeliharaan coil harmonic tidak ada petunjuk secara khusus dari produsen, tetapi dapat setiap saat diamati ketika siklotron sedang dalam kondisi operasi yaitu dengan cara membandingkan nilai yang tertera pada DVM/digital readout dengan Potensimeter *Control Console Harmonic*. Ditunjukkan pada table berikut:

STEP	SETTING	DVM
1	200	-1107
2	500	0
3	800	+1107



Gambar 4. Papan Kontrol Harmonik koil & papan control DVM

Pemeliharaan dilakukan dengan menyemburkan udara bertekanan atau dengan vakum cleaner yang sesuai untuk menghilangkan debu yang menempel pada komponen elektronik dan jalur kelistrikannya. Selanjutnya untuk mengetahui standar Tahanan/Resistan Harmonic Coil (standar pabrikan) dilakukan Pengukuran seperti skema berikut ini :



Gambar 5. Skema Pengukuran untuk mengetahui standar Tahanan/Resistan Harmonic Coil (standar pabrikan)

Tabel 11. Permasalahan umum pada sub sistem magnet

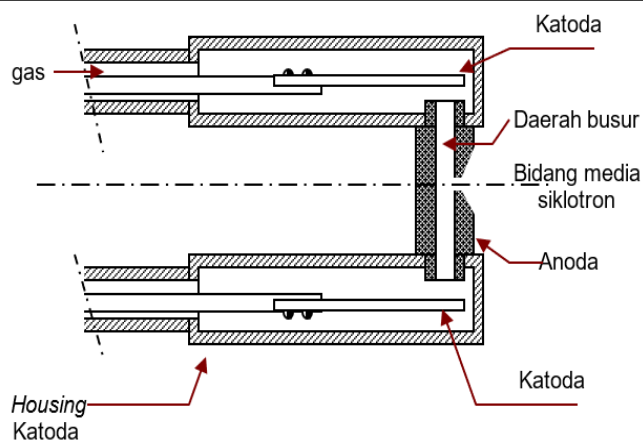
No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Medan magnet tidak stabil	Suplai daya tidak konsisten atau kumparan rusak	Periksa stabilitas daya dan ganti kumparan.
2.	Kekuatan medan tidak sesuai	Kumparan aus atau alignment tidak tepat	Perbaiki alignment atau ganti kumparan.
3.	Suhu magnet terlalu tinggi	Sistem pendinginan tidak efisien	Periksa dan perbaiki sistem pendingin.
4.	Kabel atau konektor panas berlebih	Sambungan longgar atau kabel rusak	Ganti kabel atau konektor yang rusak.
5.	Korosi pada permukaan magnet	Lingkungan kerja tidak bersih	Bersihkan magnet dan lindungi dari korosi.

2. SUB SISTEM SUMBER ION

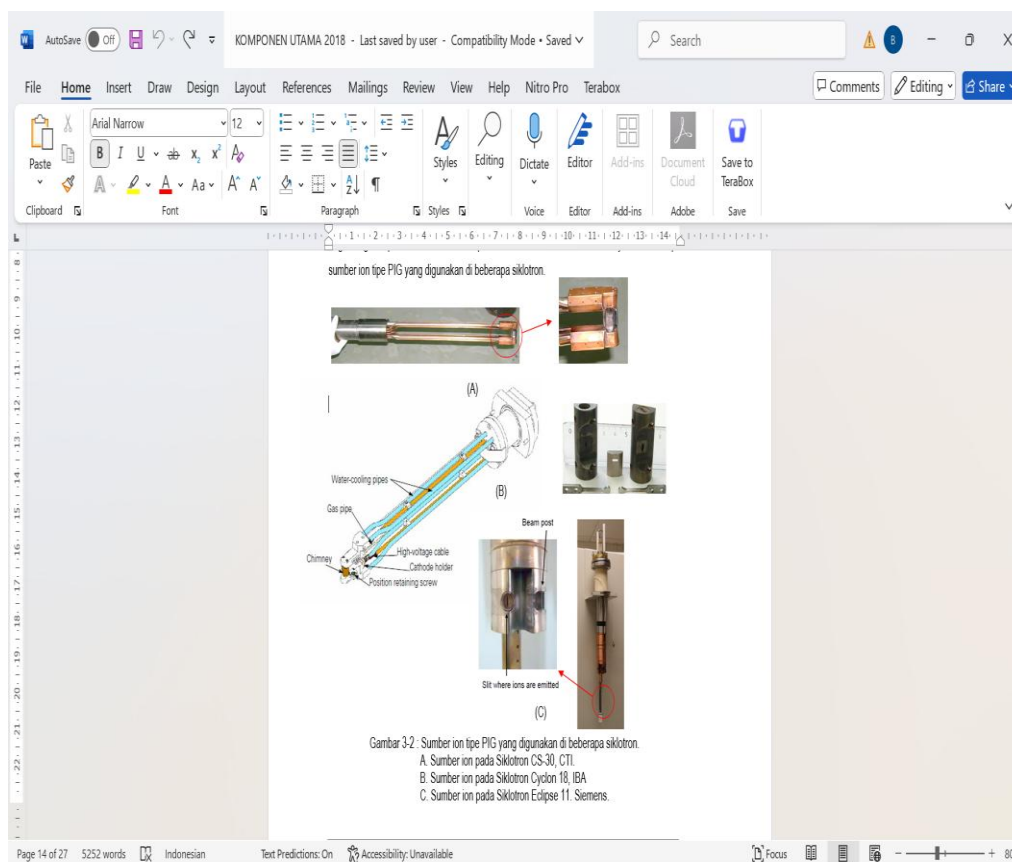
Kontributor utama terjadinya over heating adalah debu dan kotoran yang ada di permukaan pendingin, saluran pendingin dan filter pendingin. Harus peka terhadap tanda tanda aus, karat, korosi, panas yang berlebih (upnormal) pada Ion source karena tanda tanda tersebut dapat mengindikasikan adanya komponen yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya dan tanda harus segera dilakukan perawatan atau perbaikan segera. Cabinet Sistem control dibersihkan dengan udara bertekanan atau vacuum cleaner yang sesuai mengingat adanya kotoran yang menempel pada komponen elektronik akan menghambat laju pembuangan panas pada komponen aktif maupun komponen pasif yang jika dibiarkan dapat menyebabkan kerusakan dan

memperpendek umur alat dari yang seharusnya. Komponen Sumber Ion yang memerlukan pemeliharaan, perawatan dan penggantian antara lain :

- | | |
|----------------------|-------------------------------------|
| a. Cathode | d. O-Ring Vakum |
| e. Insulator Ceramic | e. Seal Pendingin |
| f. Saluran Pendingin | f. Saluran Gas dan Seal Saluran Gas |



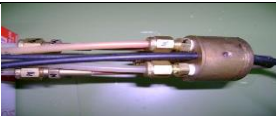
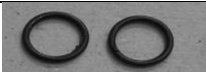
Gambar 6. Sumber ion tipe PIG di CS-30



Gambar 7. Sumber Ion dari beberapa siklotron CS-30, CTI (B) Cyclone 18, IBA

(C) Eclips 11, Siemens

Tabel 12. Ruang Lingkup Kegiatan Pemeliharaan, Perawatan, dan Penggantian Komponen sumber Ion Type PIG Cyclotron CS-30

No	Komponen		Tindakan		
			Pemeliharaan	Perawatan	Penggantian
1	Cathoda				√
2	Insulator Ceramic		√	√	√
3	Cooling sistem		√	√	√
4	O-Ring Vacuum		√		√
5	O-Ring Pendingin		√		√
6	Saluran Gas		√	√	√
7	O-Ring saluran Gas		√		√
8	Anoda		√	√	√

Tabel 13. Masalah umum yang terjadi pada sumber ion

No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Arus ion tidak stabil	Deposit pada elektroda, kebocoran gas	Bersihkan elektroda, periksa saluran gas.
2.	Efisiensi ionisasi menurun	Elektroda aus atau posisi tidak sejajar	Ganti elektroda, sesuaikan posisi.
3.	Kebocoran gas di saluran inlet	Seal atau gasket rusak	Ganti seal atau gasket.
4.	Konsumsi gas berlebihan	Kebocoran atau penyumbatan di saluran gas	Perbaiki kebocoran, bersihkan saluran gas.

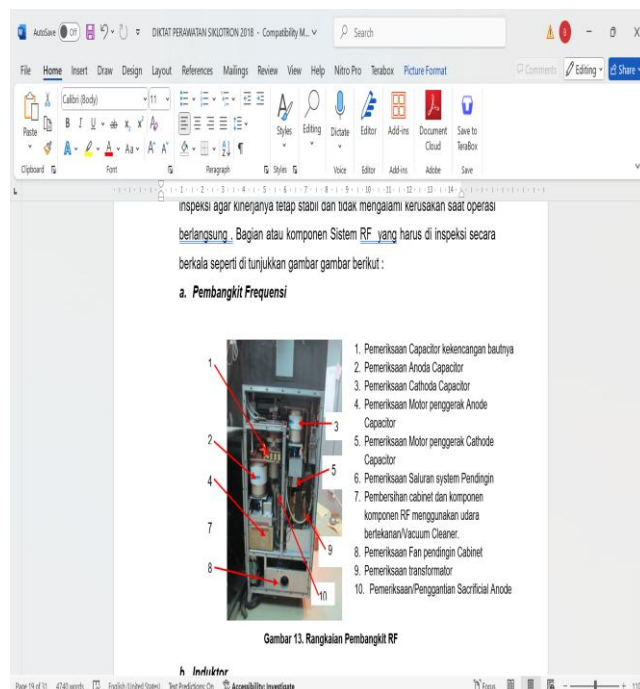
3. SUB SISTEM RADIOFREKUENSI

Peralatan ini mengandung tegangan tinggi sehingga dalam kondisi tertentu tidak diperkenankan seseorang yang tidak mempunyai keahlian khusus system ini mengoperasikan, merawat, atau memperbaiki bagian manapun dari sistem ini tanpa otorisasi yang tepat dan melalui pemahaman tentang perakitan dan sirkuitnya.

Di samping itu peralatan ini juga menghasilkan panas yang cukup tinggi sehingga tidak diperkekankan melakukan pemeliharaan, perawatan dan pergantian komponen sesaat setelah system dioperasikan. Harus diyakinkan bahwa panas dan tegangan kejut sudah tidak ada lagi. System ini harus sering dilakukan inspeksi agar kinerjanya tetap stabil dan tidak mengalami kerusakan saat operasi berlangsung . Bagian atau komponen Sistem RF yang harus di inspeksi secara berkala seperti di tunjukkan gambar gambar berikut :

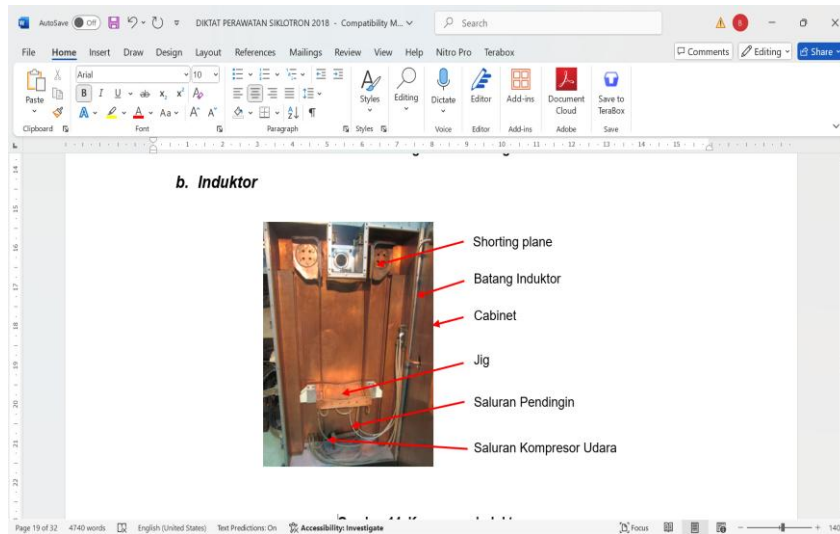
a) **Pembangkit Frekuensi**

Pemeliharaan sub system radio frekuensi (RF) dilakukan secara periodic meskipun sebenarnya sistem ini dapat diharapkan untuk memberi kinerja yang dapat diandalkan dengan minimum maintenance, tetapi system tertentu memerlukan inspeksi periodic atau penggantian. Sistem harus sering di inspeksi dan segera diperhatikan jika ditemukan adanya sesuatu yang tidak normal.



1. Pemeriksaan Capacitor kekencangan bautnya
2. Pemeriksaan Anoda Capacitor
3. Pemeriksaan Cathoda Capacitor
4. Pemeriksaan Motor penggerak Anode Capacitor
5. Pemeriksaan Motor penggerak Cathode Capacitor
6. Pemeriksaan Saluran system Pendingin
7. Pembersihan cabinet dan komponen komponen RF menggunakan udara bertekanan/Vacuum Cleaner.
8. Pemeriksaan Fan pendingin Cabinet
9. Pemeriksaan transformator
10. Pemeriksaan/Penggantian Sacrificial Anode

Gambar 8. Rangkaian Pembangkit RF



Gambar 9. Komponen Induktor

b) **Dee's**

Dee's setelah sekian lama beroperasi permukaannya akan tampak berubah warna lebih gelap dari yang sebelumnya. Oleh sebab itu Dees harus segera dibersihkan, dan untuk membersihkan dees tersebut yaitu dengan cara melepaskan dees dari dudukannya. Lalu dengan menggunakan ampelas dan cairan pembersih yang direkomendasikan pabrikan permukaan dan lengan Dees tersebut diampelas searah sambil diberi cairan pembersih terus menerus, hal ini untuk menjamin kotoran yang lepas dari permukaan tidak tertahan



Gambar 10. Dee's

c) **Cabinet Power Supply**

Pada Cabinet Power Supply system Radiofrekuensi juga menghasilkan panas yang cukup tinggi. Pada cabinet tersebut terdapat control pengendali dan pengaman

kegagalan operasi. Pemeliharaan pada cabinet ini seperti cabinet elektronik lain harus dibersihkan dari debu dan kotoran lain yang menempel pada permukaan komponen dengan menghembuskan udara bertekanan atau dengan vacuum cleaner yang sesuai.



Gambar 11. Power Supply Sistem Radiofrekuensi

Tabel 14. Masalah umum yang terjadi pada sub sistem RF

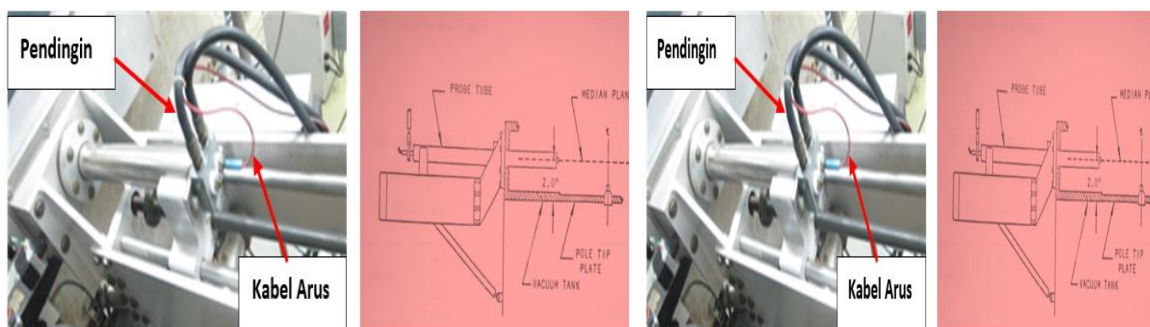
No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Output RF tidak stabil	Frekuensi tidak sinkron, kabel rusak	Kalibrasi ulang, ganti kabel.
2.	Kehilangan daya yang tinggi	Impedansi tidak cocok, resonator kotor	Sesuaikan impedansi, bersihkan resonator.
3.	Suhu berlebihan	Sistem pendingin tersumbat	Bersihkan saluran pendingin atau ganti cairan.
4.	Kerusakan tabung RF	Penggunaan berlebih atau keausan	Ganti tabung RF.
5.	Frekuensi tidak tercapai	Anoda kapasitor tidak bekerja dengan baik	Cek potensiometer pembatas putaran anoda kapasitor
6.	RF trip	Terjadi loncatan listrik/spark atau Gap shorting plane terlalu dekat	Atur gap (celah) shorting plane

4. SUB SISTEM MONITOR DAN EKSTRAKTOR BERKAS

a. *Sistem Monitor Berkas (Beam probe)*

Hampir dapat dikatakan komponen ini bebas perawatan, namun demikian kiranya ada hal hal yg perlu dilakukan inspeksi agar kinerja mekaniknya tetap normal yaitu menyangkut kebersihan dan pergerakannya antara lain:

- 1) Pembersihan komponen poros agar terbebas dari Debu, korosi dan karat
- 2) Pengecekan Saluran pendingin (hose dan piping)
- 3) Kalibrasi jarak dan pemeriksaan sambungan, isolator kabel dan monitor arus berkas



Gambar 12. Monitor Berkas

Berikut ini gambar dari head monitor arus berkas :



Terbuat dari bahan Tembaga khusus dengan kemurnian tertentu. Pada head ini disamping terkoneksi dengan kabel pengukur arus berkas juga diberikan pendingin cair

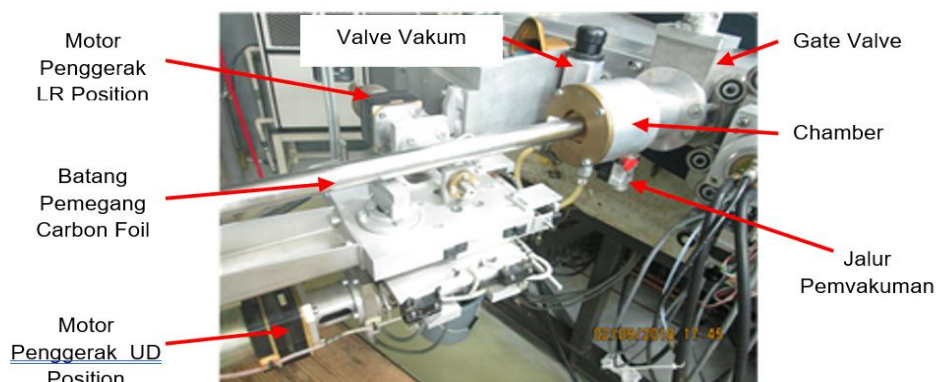
Gambar 13. Head BeamProbe

b. ***Sistem Ekstraktor (Carbon Foil)***

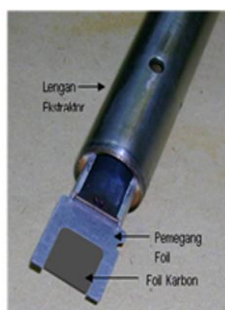
Sistem ekstraktor berkas terdiri dari Gate Valve, Vacuum Pump, O-Ring, Valve Manual, batang penggerak, motor penggerak posisi . Pemeliharaan dan perawatan pada system ini seperti halnya Beam probe tidak perlu dilakukan secara khusus. Yang perlu diperhatikan adalah saat penggantian Carbon Foil maka posisi batang penggerak harus benar benar lurus terhadap acuan setingnya, karena jika diabaikan dapat merusak O-Ring Vakum yang ada pada rumah batang penggerak . Pemberian pelumas yang sesuai tidak harus dilakukan secara rutin tetapi dapat dilakukan saat penggantian Carbon foil. Pembersihan system dari debu dan kotoran lain menggunakan cairan pembersih dan kain lap yang disarankan oleh pabrikan.

Agar tidak salah dalam Pemeliharaan dan perawatan maka harus terlebih dulu mengetahui Fungsi dari alat tersebut :

- 1) Gate Valve berfungsi untuk menutup ruang chamber vakum siklotron ketika batang ekstraktor ditarik keluar dari chamber
- 2) Batang Penggerak berfungsi sebagai tempat untuk menempatkan head Carbon foil.
- 3) Motor Penggerak posisi berfungsi untuk mengatur posisi ekstraktor kekiri kekanan atau keatas kebawah.
- 4) Vacuum pump berfungsi untuk memvakumkan ruang antara chamber dengan luar chamber
- 5) Valve manual berfungsi untuk membuka dan menutup ruang vakum luar chamber



Gambar 14. Ekstraktor



Gambar 15. Striper

Yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan Pemeliharaan ataupun perawatan adalah saat mengeluarkan batang pemegang Carbon Foil . Carbon Foil tidak boleh ditiup, tersentuh secara keras dengan benda lain karena akan mengakibatkan carbon foil rusak.

Tabel 15. Masalah umum pada sub sistem esktraksi berkas

No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Efisiensi ekstraksi menurun	Posisi deflektor tidak presisi	Kalibrasi ulang posisi deflektor.
2.	Lintasan berkas tidak stabil	Magnet ekstraksi tidak sesuai	Sesuaikan kekuatan magnet.
3.	Foil karbon robek atau rusak	Partikel berenergi terlalu tinggi	Ganti foil karbon dan sesuaikan parameter.
4.	Deposisi material pada deflektor	Partikel bertabrakan dengan permukaan	Bersihkan deflektor atau ganti jika rusak.
5.	Korosi pada magnet atau konektor	Lingkungan vakum tidak terjaga	Bersihkan magnet, ganti konektor, dan cek sistem vakum.

UB SISTEM VAKUM TANGKI SIKLOTRON

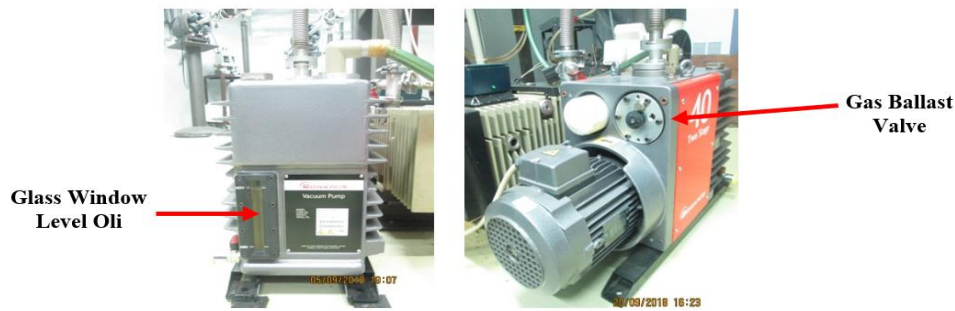
Sistem Vakum Tangki Siklotron CS-30 terdiri dari tiga system yaitu Pompa Vakum Mekanik, Pompa difusi dan pompa Cryogenic. Meskipun sistem ini dapat diharapkan untuk memberikan kinerja yang dapat diandalkan dengan perawatan minimum, beberapa peralatannya memerlukan servis berkala atau penggantian suku cadang. Peralatan harus menerima inspeksi dan perhatian segera ketika ditemukan adanya ketidaknormalan. Aturan berikut dapat dilakukan untuk membantu menjaga sistem vakum siklotron berfungsi dengan baik :

- Menjaga kebersihan peralatan dari debu dan kotoran terutama pada permukaan pendingin atau di saluran dan filter yang berkontribusi terhadap terjadinya pemanasan berlebih. Meniup cabinet sesekali untuk menghilangkan debu yang terkumpul.
- Selama pemeriksaan peralatan secara berkala, cari tanda-tanda aus, kondensasi, karat, korosi, pemanasan yang berlebihan, atau bagian yang rusak
- Peka terhadap perubahan dalam kinerja siklotron karena perubahan seperti itu menunjukkan sesuatu yang *tidak normal*.

emeliharaan dan perawatan Pompa Mekanik

Pemeliharaan pompa mekanik dilaksanakan secara berkala dengan melihat level dan warna Oli serta noise pada motor penggerak dan sambungan/konektor kelistrikan serta pengaman beban. Breakdown maintenance dilakukan dalam waktu tertentu atau jika tingkat kevakuman berada pada nilai standarnya.

Untuk menjaga agar kinerja pompa tetap terjaga valve gast ballast dibuka selama lebih kurang 1 jam operasi.



Gambar 16. Pompa Vakum Mekanik

Tabel 16. Permasalahan umum pada pompa vakum rotary

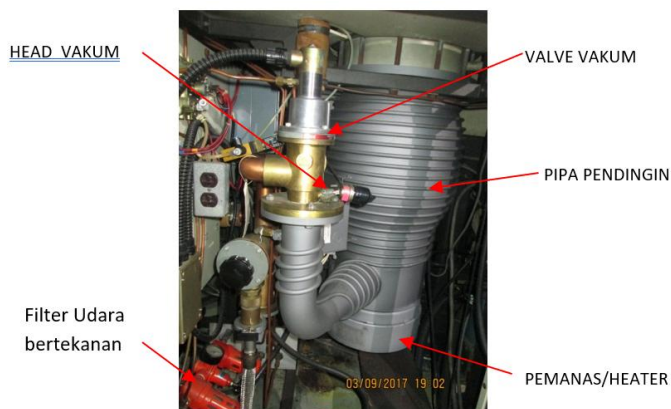
No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Tingkat vakum rendah	Minyak kotor, rotor/vanes aus, kebocoran	Ganti minyak, periksa rotor, perbaiki kebocoran.
2.	Suara pompa berisik	Minyak kurang, rotor/vanes tidak sejajar	Tambahkan minyak, kalibrasi rotor/vanes.
3.	Minyak berbusa atau keruh	Kontaminasi gas atau cairan masuk ke pompa	Ganti minyak, hindari kontaminasi.
4.	<i>Overheating</i> (pompa panas)	Ventilasi tersumbat, minyak kurang	Bersihkan ventilasi, tambahkan minyak.

b.

P

Pemeliharaan dan Perawatan Pompa Diffusi

Pemeliharaan pompa mekanik dilaksanakan secara berkala dengan melihat level dan warna Oli serta system pemanas/heater serta sambungan/konektor kelistrikan, jalur system pendingin serta komponen pengaman beban. Breakdown maintenance dilakukan dalam waktu tertentu atau jika tingkat kevakuman tidak berada pada kinerja standarnya. Inspeksi dapat dilakukan perhari jika siklotron tidak operasi beam current



Gambar 17. Pompa Vakum Difusi

Tabel 17. Permasalahan umum pada pompa vakum difusi

No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Tekanan vakum tidak tercapai	Minyak kotor, uap kontaminasi, kolom kotor	Ganti minyak, bersihkan kolom difusi.
2.	Suhu pemanas tidak stabil	Pemanas aus, suplai listrik tidak stabil	Periksa pemanas, pastikan pasokan daya baik.
3.	Kebocoran minyak	Seal atau gasket rusak	Ganti seal atau gasket.
4.	Pendinginan tidak optimal	Jalur pendingin tersumbat	Bersihkan jalur pendingin, ganti bagian yang aus.

c.

P

emeliharaan dan Perawatan Pompa Cryogenic

Pemeliharaan dan perawatan pada **Cryopump** antara lain menyangkut beberapa hal yang terkait dengan *life time* komponen dan perawatan komponen lainnya seperti jalur kelistrikan, pengaman kelistrikan dan jalur pendingin serta konektor konektor dan selang kevakuman.



Gambar 18. System Pompa Cryogenic

Pemeliharaan dan Perawatan Cryogenic pump meliputi:

- 1) Penggantian absorber
- 2) Pemeliharaan cryopanel (Pembongkaran dan Pemasangan)
- 3) Membersihkan Relief Valve
- 4) Pemeriksaan Fungsi Diode Encapsulated
- 5) Pemeliharaan Expander
- 6) Charge dan Venting

- 7) Gas Clean Up
- 8) Leak Repair

Tabel 18. Permasalahan yang umum pada pompa vakum cryogenic

No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Tingkat vakum tidak tercapai	Refrigeran kurang, kebocoran di seal	Tambahkan refrigeran, periksa dan ganti seal.
2.	Es berlebihan pada permukaan	Kebocoran gas atau kelembapan dalam sistem	Deteksi kebocoran, perbaiki sistem vakum.
3.	Pendinginan lambat	Refrigeran habis atau sistem pendingin rusak	Isi ulang refrigeran, periksa pompa pendingin.
4.	Kebocoran refrigeran	Valve atau gasket aus	Ganti valve atau gasket.

Selain pemeliharaan pompa-pompa vakum, perawatan yang sering dilakukan terkait kevakuman pada siklotron adalah pemeliharaan O-ring pada tangki/ruang vakum. O-ring ini terletak di antara tutup atas tangki vakum dan berfungsi menjaga kevakuman ruang vakum. O-ring tersebut harus mampu menahan beban tekan yang besar dari magnet pole atas dan komponen lainnya yang berada di bagian atas tangki siklotron. Akibatnya, O-ring rentan mengalami deformasi menjadi pipih, yang dapat menurunkan kemampuannya dalam menjaga kevakuman. Kondisi ini dapat menyebabkan kevakuman tangki tidak mencapai kondisi yang diinginkan.

Perawatan O-ring dilakukan dengan memberikan pelumas (*grease*) khusus untuk kondisi vakum setiap kali pembukaan tangki dilakukan. Selain itu, O-ring juga rentan putus akibat kesalahan dalam proses penutupan tangki, di mana O-ring terkadang terlepas dari alurnya dan terjepit oleh tutup tangki. Jika hal ini terjadi, maka penggantian O-ring harus dilakukan.

Kegiatan pembukaan tangki siklotron biasanya dilakukan untuk keperluan perawatan ruang percepatan atau pengaturan area pusat (center region) yang berada di dalam tangki, seperti pengaturan puller, dee, penggantian foil karbon, dan lain sebagainya.

6. SYSTEM TRANSPORT BERKAS

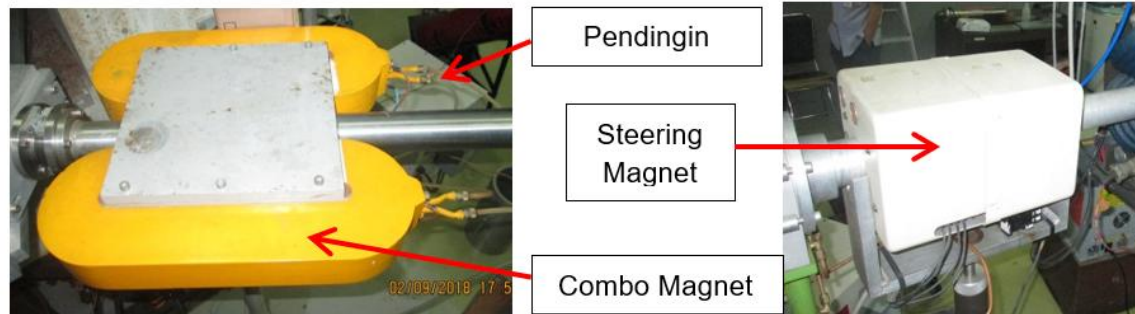
1.

C

ombo Magnet dan X-Y Steering Magnet

Pada Kedua komponen ini tidak memerlukan perawatan rutin/ khusus, Kecuali jika

isolasi kumparannya rusak. Tetapi sangat disarankan agar tahanan kumparan sesekali dicek dan di tes dengan alat yang sesuai (DC Hipot/ Megger).



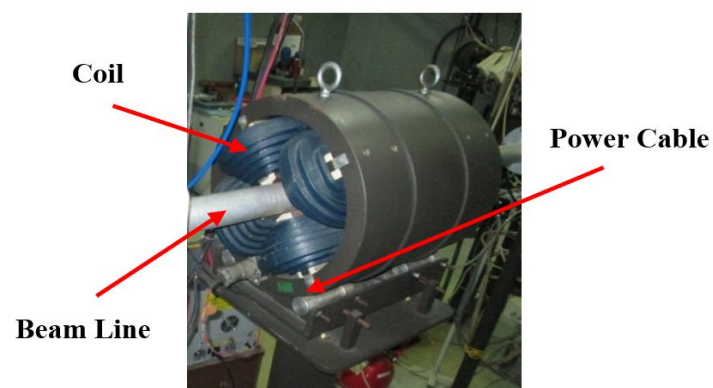
Gambar 19. Combo dan X-Y Steering Magnet

Hal lain yang perlu diperhatikan pada pemeliharaan alat tersebut adalah :

- 1) Permukaan logam yang tidak dicat harus sering dibersihkan dan dilumasi
- 2) untuk mencegah pembentukan karat pada permukaannya.
- 3) Lakukan Test data Coil dalam kondisi tanpa beban dan dengan beban , hal ini dapat dilakukan saat system sedang dilakukan pra operasi siklotron.
- 4) Sebelum operasi yakinkan bahwa system pendingin pada combo magnet tidak terdapat kebocoran.

2. **Quadrouple Magnet**

Quadrouple Magnet sama halnya dengan *steering Magnet* dan *combo Magnet* tidak memerlukan perawatan secara khusus/ special.



Gambar 20. Quadrouple Doblet

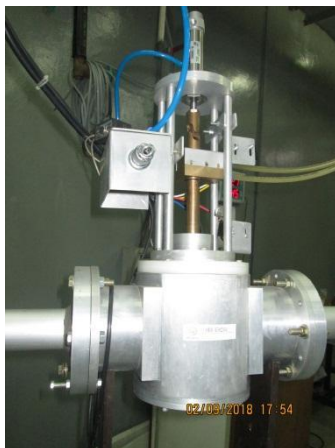
Tetapi tetap harus di cek untuk mengetahui resistansinya sebagai data proses

pemeliharaan.

Yang juga perlu dikontrol adalah permukaan logam yang tidak di cat harus sering dibersihkan agar permukaannya tidak berkarat. Perhatikan juga kipas pendingin kumparan dapat bekerja dengan baik, bilah kipasnya di bersihkan dari debu agar hembusannya lebih sempurna.

3. ***Beam Stop dan Beam Profile***

Fungsi dari Beam stop adalah untuk mengambat/ memberhentikan laju berkas menuju target sedangkan beam Profile berfungsi untuk melihat bentuk atau besarnya berkas dan diamati menggunakan Kamera pengontrol yang berada di ruang kontrol operasi. Kedua alat ini digerakkan dengan sistem pneumatik dengan kontrol solenoid valve.



Gambar 21. Beam Stop and Beam Profile System

Pemeliharaan rutin pada Kedua system ini terutama dilakukan pada jalur intake compressor udara, selang kompresor udara bertekanan maupun selang system pendingin, Solenoid valve dan jalur sistem pendingin pada beam stop dan beam profile serta penggantian O-Ring secara periodic atau dilakukan perawatan dan perbasikan jika tiba tiba ditemukan ketidaknormalan kinerja system.

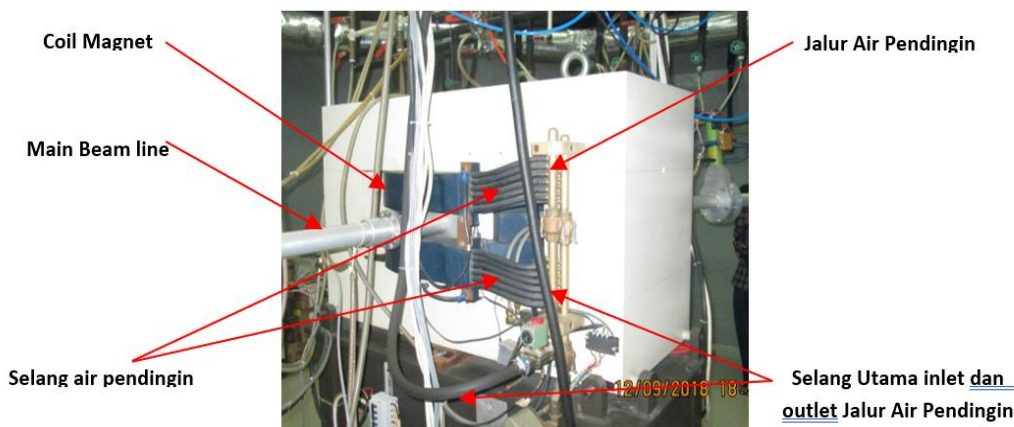
d) ***Switching Magnet***

Meskipun sistem ini dapat diharapkan dapat memberikan kinerja yang dapat diandalkan dengan perawatan minimum. Tetapi sub sistem tertentu tetap membutuhkan servis berkala atau jika di perlukan harus dilakukan penggantian komponen yang mengalami kinerja buruk.

Sistem harus diperhatikan/diamati secara tepat dan teliti dan jika ada kekurangan

harus segera diperbaiki. Aturan-aturan berikut dapat membantu menjaga reliability system switching magnet :

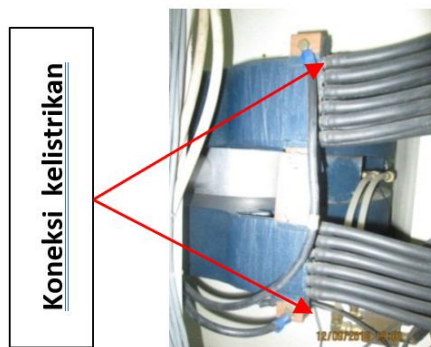
- 1) Jaga peralatan agar tetap bersih. Kontributor utama overheating adalah debu dan kotoran pada permukaan pendingin atau di saluran dan filter. berbagai kabinet elektronik harus dilepas dan dibersihkan secara berkala untuk menghilangkan debu yang terkumpul.
- 2) Lakukan inspeksi peralatan secara berkala. mencari tanda-tanda aus, kondensasi, karat, korosi, pemanasan yang berlebihan/ bagian rusak lainnya.
- 3) Peka terhadap perubahan besar dalam kinerja. Adanya perubahan seperti itu sering menunjukkan bahwa saatnya diperlukan pemeliharaan.



Gambar 22. Switching Magnet

Maintenance schedule swicthing magnet:

- 1) **Magnet**
 - a) Periksa kabel daya dan koneksinya pada setiap bulan, dan kencangkan koneksi listrik yang longgar.
 - b) Bersihkan kabel ,terminal kabel dari debu dan korosi, lalu lumasi dengan pembersih atau **Contac Cleaner**.
 - c) Memeriksa jalur pendingin dan manifold pada setiap bulan (untuk mengetahui jika ada tanda-tanda kebocoran pada system air pendingin).



Gambar 23. Posisi Baut Kelistrikan

2) **Magnet Power supply**

- a) Angkat dan bersihkan saringan air pendingin (setiap enam bulan)
- b) Secara berkala meniup bagian dalam catu daya dengan udara bertekanan
- c) Periksa semua komponen listrik setiap bulan untuk memastikan tidak ada kondensasi
- d) Periksa terminal lead output DC, kencangkan jika longgar

Langkah *Maintenance Procedure* Switching Magnet Power supply:

- a) Pemeriksaan Resistansi Isolasi
- b) Pembersihan Permukaan *Pole Magnet*
- c) Pengaturan kembali (*alignment*) jika magnet di buka/ diperbaiki.

Tabel 19. Permasalahan yang umum pada transfer berkas

No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Lintasan berkas tidak stabil	Medan magnet tidak terkalibrasi	Kalibrasi ulang medan magnet.
2.	Fokus berkas tidak optimal	Quadrupole magnet tidak sesuai spesifikasi	Sesuaikan posisi dan arus quadrupole.
3.	Efisiensi transfer menurun	Koneksi kabel longgar atau komponen kotor	Periksa kabel, bersihkan jalur lintasan.
4.	Switching magnet tidak responsif	Kerusakan pada kumparan atau konektor	Ganti kumparan atau perbaiki konektor.
5.	Kerusakan <i>beam stop</i>	Paparan panas berlebih	Ganti <i>beam stop</i> yang rusak.

7. **SISTEM PENDINGIN**

Sistem Pendingin Siklotron CS 30 menggunakan system pendinginan tidak langsung yaitu dengan system pemindahan proses pendinginan melewati *Heat Exchanger* (

HE).

Pompa Utama/Big Pump digunakan pada saat siklotron operasi penuh sedangkan pompa kecil/ small pump digunakan pada saat siklotron dalam posisi stand by. Air pendingin yang digunakan harus memenuhi persyaratan tertentu yang tidak boleh diabaikan karena dapat berakibat fatal pada coil listrik hollow pada system magnet utama, switching magnet dan transformator magnet power supply.

Masalah yang sering timbul pada system pendingin diantaranya adalah menurunnya nilai Resistivity dan konduktivitasnya, ini disebabkan resin sudah mengalami kejenuhan.



Gambar 24. Sistem Pendingin

Pada system pendingin siklotron CS-30 pada awalnya ada dua tabung resin yang terpasang secara parallel dan ini sebenarnya sangat membantu dalam proses maintenance tanpa harus menghentikan operasi dari system pendingin. Nilai resistivity dan konduktivitas di monitor di panel control sedangkan meter tekanan dan suhu input serta suhu output dapat terpasang pada system pemipaan.

Temperatur dari system Chiller harus dijaga tidak lebih besar dari 15°C karena akan mengakibatkan naiknya temperature pendingin komponen komponen vital yang dapat membuat system siklotron shut down, juga penting diperhatikan jika tekanan air pendingin sedikit dibawah setting harus segera dilakukan pengecekan pada koneksi, filter dan velve yang mungkin sudah mengalami penurunan kinerja.

Pemeliharaan *Big Pump* dan *small Pump* dilakukan secara rutin disesuaikan dengan rekomendasi pabrik pembuatnya. Pelumasan pada bearing dapat dilakukan setiap 1 tahun atau 2 tahun sekali kecuali dalam kondisi tertentu misalnya pada saat penggantian komponen tertentu ketika alat tersebut di breakdown maintenance.

Pembersihan Heat Exchanger dilakukan saat kegiatan operasi siklotron tidak dilakukan, umumnya yang terjadi pada system HE adalah adanya Debu dan karat serta kotoran lain yang menyelimuti kisi kisinya.

Tabel 20. Permasalahan umum pada sistem pendingin

No.	Masalah	Penyebab	Solusi
1.	Suhu cairan terlalu tinggi	Radiator tersumbat, pompa tidak optimal	Bersihkan radiator, perbaiki atau ganti pompa.
2.	Kebocoran cairan	Seal atau gasket rusak	Ganti seal atau gasket yang bocor.
3.	Aliran cairan tidak stabil	Pipa tersumbat atau tekanan pompa rendah	Bersihkan pipa, periksa dan sesuaikan tekanan.
4.	Kontaminasi cairan pendingin	Cairan lama atau filter tidak diganti	Ganti cairan pendingin dan filter.
5.	Sensor suhu tidak akurat	Sensor aus atau tidak terkalibrasi	Kalibrasi ulang atau ganti sensor.

B. PERAWATAN PERBAIKAN DAN PENGGANTIAN KOMPONEN SUB SISTEM SIKLOTRON

Pada kondisi tertentu, Sub-sistem siklotron memerlukan perawatan yang lebih kompleks, seperti perbaikan atau penggantian komponen. Beberapa sub-sistem yang biasanya memerlukan tindakan perawatan besar adalah sebagai berikut:

1. S Sumber Ion

Perbaikan yang sering dilakukan pada sub sistem sumber ion adalah penggantian katoda sumber ion yang mengalami aus karena pemakaian, selain itu juga komponen *seal gland* yang berfungsi sebagai isolator berbahan keramik yang sering terjadi retak akibat temperatur tinggi. Komponen lainnya yang juga rentan mengalami kerusakan adalah katoda sumber ion meskipun frekuesinya lebih jarang jika dibandingkan dengan penggantian katoda.

Prosedur perawatan dan perbaikan mayor pada sumber ion tipe PIG (*Penning Ion Gauge*) di siklotron, yang meliputi penggantian katoda, anoda, dan *seal gland*, dijelaskan dalam beberapa langkah berikut:

a. P

Persiapan dan Keamanan:

- M
Matikan siklotron dan pastikan sistem dalam keadaan aman, bebas dari tegangan listrik, dan semua komponen telah didinginkan (jika siklotron dalam keadaan beroperasi).
- P
Pastikan area kerja sudah disterilkan dan dilengkapi dengan alat perlindungan diri (APD) yang sesuai.
- P
Periksa dan pastikan semua alat yang dibutuhkan untuk perbaikan tersedia, seperti katoda, anoda, *seal gland*, dan alat pelindung.

b. ***P***

elepasan Komponen yang Rusak:

- L
lepaskan sumber ion PIG dari tempatnya dengan hati-hati. Hal ini bisa melibatkan penguncian mekanisme atau penutupan sumber ion pada ruang yang aman.
- L
lepaskan kabel dan konektor yang terhubung ke katoda dan anoda.
- K
Keluarkan katoda dan anoda dengan hati-hati menggunakan alat khusus jika diperlukan, pastikan tidak ada kerusakan tambahan pada komponen sekitar.
- P
Periksa kondisi *seal gland* yang mengalami retak. *Seal gland* berfungsi untuk mencegah kebocoran gas atau listrik, sehingga sangat penting untuk menggantinya.

c. ***P***

Pembersihan dan Persiapan Pemasangan Komponen Baru:

- B
Bersihkan area sekitar katoda, anoda, dan *seal gland* dari kotoran atau residu.
- P
Periksa kondisi komponen lainnya yang mungkin terpengaruh oleh kerusakan, seperti saluran gas atau kabel-kabel yang terhubung.
- P

astikan *seal gland* baru terpasang dengan sempurna.

d. **P**

Pemasangan Katoda, Anoda, dan Seal Gland Baru:

• P

asang katoda dan anoda baru dengan hati-hati, memastikan keduanya terpasang dengan aman pada tempatnya.

• P

asang *seal gland* baru dan pastikan pemasangan yang rapat dan aman.

• P

astikan semua sambungan kabel dan konektor dipasang dengan benar dan kencang.

e. **P**

Pengujian dan Kalibrasi:

• S

etelah pemasangan selesai, lakukan pengujian untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik.

• N

yalakan sistem dengan hati-hati dan lakukan pemeriksaan visual untuk memastikan tidak ada kebocoran atau masalah lainnya.

• K

alibrasi siklotron untuk memastikan bahwa kinerja ionisasi berjalan optimal setelah penggantian katoda, anoda, dan seal gland.

f. **P**

Pembersihan dan Dokumentasi:

• S

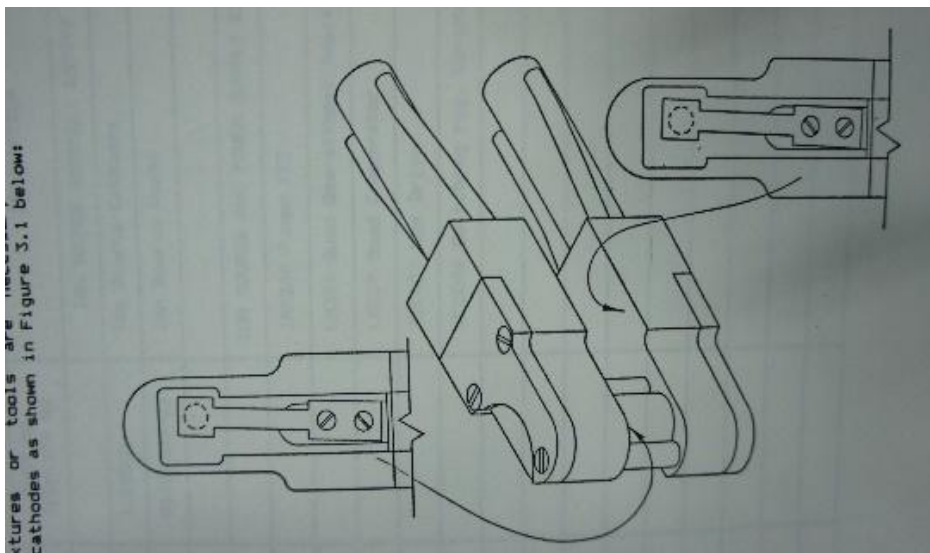
etelah perbaikan selesai dan sistem dinyatakan aman, bersihkan area kerja dari semua alat dan bahan bekas.

• B

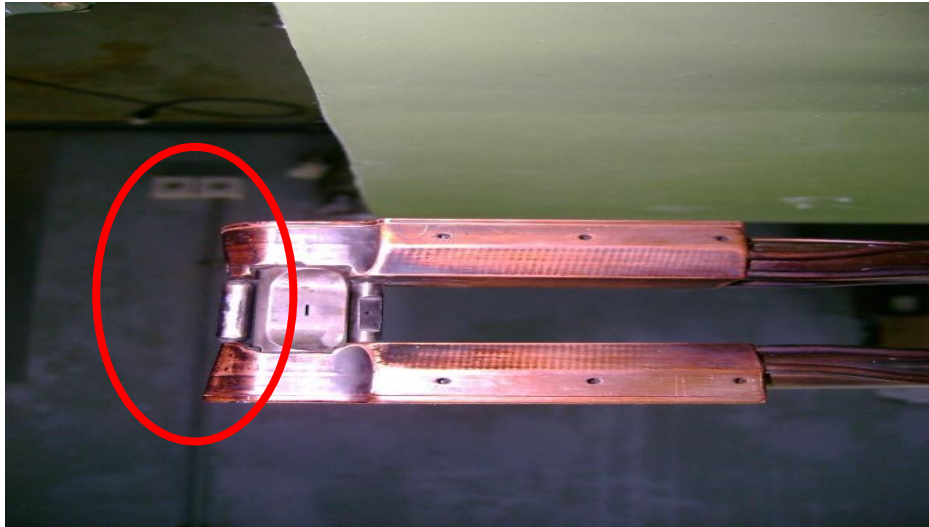
uat laporan perbaikan yang mencakup detail pekerjaan yang dilakukan, komponen yang diganti, serta hasil pengujian dan kalibrasi.



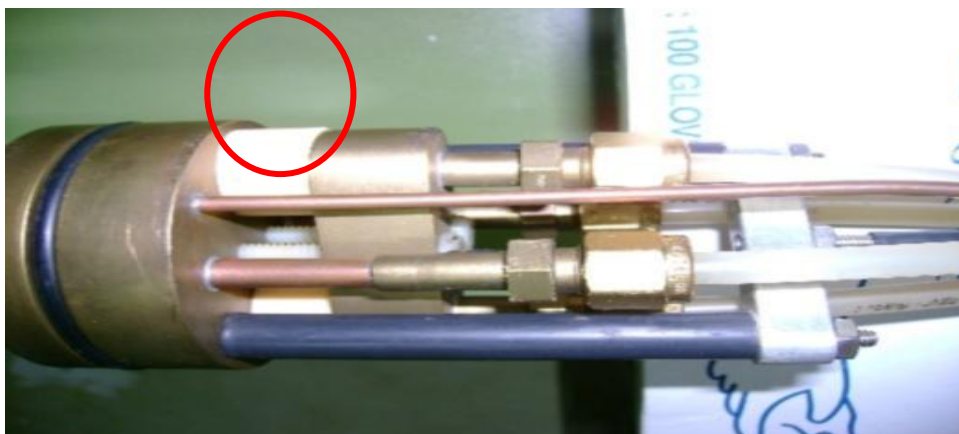
Gambar 25. Ruang Katoda



Gambar 26. Katoda terpasang



Gambar 27. Anoda



Sumber: SOP Perawatan Sumber Ion

Gambar 28. Seal gland

2.

S

ub Sistem Vakum

a)

P

ompa vakum rotary

Perbaikan yang sering dilakukan pada pompa vakum rotary adalah pembersihan dan penggantian *vane* (bilah pompa) yang kotor atau aus/rusak, dapat dilakukan melalui prosedur berikut ini:

1) **Persiapan dan Keamanan:**

•

M

atikan pompa vakum dan pastikan sistem dalam keadaan aman sebelum memulai pekerjaan.

- P
astikan semua aliran listrik atau sumber energi terputus dan tekan tombol pengaman jika ada.

- Gunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, seperti sarung tangan dan pelindung mata, karena beberapa komponen pompa vakum mungkin tajam atau mengandung bahan yang berbahaya.

2) P

elepasan Pompa Vakum dari Sistem:

- L
epaskan pompa vakum dari sistem atau mesin tempat pompa dipasang dengan hati-hati.

- P
astikan semua sambungan dan saluran vakum terlepas dengan benar, dan pastikan tidak ada kebocoran gas atau cairan dari sistem vakum.

3) P

embersihan Pompa Vakum:

- B
ersihkan komponen luar pompa, seperti penutup dan bagian-bagian lain yang dapat terjangkau dengan lap atau sikat.

- B
ersihkan bagian dalam pompa dengan menggunakan bahan pembersih yang aman dan sesuai dengan spesifikasi pompa. Hindari penggunaan bahan kimia yang dapat merusak komponen pompa vakum.

- P
eriksa bagian-bagian dalam pompa, seperti rotor, stator, dan saluran masuk/keluar untuk memastikan tidak ada kotoran, debu, atau oli bekas yang menempel.

4) P

emeriksaan dan Penggantian Vane (Bilah Pompa):

- P
eriksa vane yang ada untuk mengetahui apakah sudah aus, rusak, atau tertutup kotoran. Vane yang aus atau rusak dapat mengurangi efisiensi pompa dan menyebabkan kebocoran udara.

- L

epaskan vane yang lama dengan hati-hati. Biasanya, vane dapat dilepas dari rotor menggunakan alat khusus.

- P

asang vane baru dengan hati-hati. Pastikan vane baru sesuai dengan ukuran dan spesifikasi pabrikan untuk memastikan kinerja pompa yang optimal.

- S

etelah pemasangan vane baru, pastikan tidak ada benda asing atau sisa kotoran di dalam pompa.

5) P

emeriksaan Komponen Lain:

- P

eriksa seal dan gasket untuk memastikan tidak ada kebocoran udara. Gasket atau seal yang rusak dapat menyebabkan penurunan performa vakum.

- P

eriksa bearing atau bantalan pompa untuk memastikan bahwa tidak ada keausan yang signifikan. Jika bearing aus, penggantian juga perlu dilakukan.

- P

eriksa oli pelumas pompa vakum (jika ada) dan ganti dengan oli yang sesuai jika sudah tercemar atau mengering.

6) P

emasangan Kembali dan Pengujian:

- S

etelah semua komponen dibersihkan dan vane baru dipasang, pasang kembali pompa vakum ke dalam sistem atau mesin.

- L

akukan pengujian awal untuk memastikan bahwa pompa vakum berfungsi dengan baik setelah perbaikan. Periksa tingkat vakum yang dihasilkan untuk memastikan tidak ada kebocoran atau penurunan kinerja.

- D

engarkan suara pompa saat beroperasi untuk memastikan tidak ada suara abnormal yang menunjukkan masalah pada komponen internal.

7) P

embersihan Akhir dan Dokumentasi:

- B
ersihkan area kerja dan pastikan tidak ada alat atau komponen yang tertinggal.

- B
uat laporan perbaikan yang mencakup tindakan yang telah dilakukan, penggantian komponen, dan hasil pengujian setelah perbaikan.

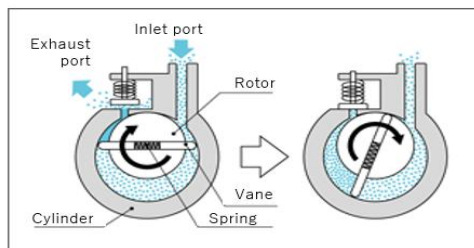


Sumber :
<https://id.aliexpress.com/item/32844068850.html>

Gambar 29. Pompa vakum rotary

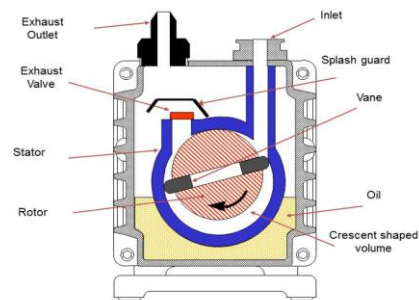


Sumber : <https://www.pfeiffer-vacuum.com/global/en/products/vacuum-pumps/rotary-vane-pumps>



Sumber :
https://ulvackiko.com/en/support/pump_06_oil_rotary.html

Gambar 30. Skema kerja pompa rotary



Sumber :
<https://www.iqsdirectory.com/articles/vacuum-pump/rotary-vane-vacuum-pumps.html>

b)

ompa vakum difusi

Perbaikan yang sering dilakukan pada pompa vakum difusi, yang melibatkan penggantian oli difusi dan penggantian pemanas (*heater*), dapat dilakukan dengan prosedur berikut:

1)

ersiapan dan Keamanan:

-

atikan pompa vakum difusi dan pastikan sistem dalam keadaan aman sebelum memulai pekerjaan.

- P
astikan semua sumber listrik dan energi terputus, serta pompa telah didinginkan jika sebelumnya beroperasi.

- G
unakan alat pelindung diri (APD), seperti sarung tangan dan pelindung mata, untuk menghindari kontak dengan oli panas atau komponen berbahaya.

2) P

enggantian Oli Difusi:

- B
uka penutup oli difusi dengan hati-hati, pastikan pompa dalam keadaan tidak tertekan dan oli sudah dingin.

- K
uras oli difusi lama dengan hati-hati, pastikan oli terbuang ke tempat yang aman dan tidak mencemari lingkungan.

- P
eriksa kondisi oli yang lama. Jika oli terlihat kotor atau tercemar, berarti sudah waktunya diganti.

- P
asang oli difusi baru yang sesuai dengan spesifikasi pabrikan pompa. Gunakan oli yang memiliki viskositas dan titik didih sesuai dengan kebutuhan pompa vakum difusi untuk mencegah kerusakan pada komponen internal.

- P
astikan bahwa level oli sesuai dengan standar yang direkomendasikan oleh pabrik.

3) P

enggantian Pemanas (*Heater*):

- L
epaskan pemanas lama dengan hati-hati. Pemanas biasanya dipasang di sekitar saluran oli atau di bagian yang memanaskan oli untuk menjaga viskositas yang diperlukan.

- P
eriksa kondisi pemanas apakah ada kerusakan fisik atau gangguan pada elemen

pemanas. Pemanas yang rusak atau tidak berfungsi dapat menyebabkan penurunan kinerja pompa vakum difusi.

- P

asang pemanas baru yang sesuai dengan spesifikasi teknis. Pastikan pemanas terpasang dengan aman dan tidak ada celah yang dapat menyebabkan kebocoran atau gangguan pada sistem pemanasan.

- P

eriksa kabel dan konektor pemanas untuk memastikan sambungan yang baik dan aman.

4) P

emeriksaan Komponen Lain:

- P

eriksa seal dan gasket di sekitar pompa untuk memastikan tidak ada kebocoran udara yang dapat menurunkan efisiensi pompa.

- P

astikan tidak ada kotoran atau kontaminan lain di dalam pompa yang dapat mempengaruhi kinerjanya.

5) P

engujian:

- L

akukan pengujian awal untuk memastikan bahwa pompa vakum berfungsi dengan baik setelah perbaikan. Periksa sistem vakum untuk memastikan pompa dapat mencapainya dan tidak ada kebocoran.

- P

eriksa pemanas dan oli difusi untuk memastikan bahwa pemanas bekerja dengan baik dan oli berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

6) P

embersihan Akhir dan Dokumentasi:

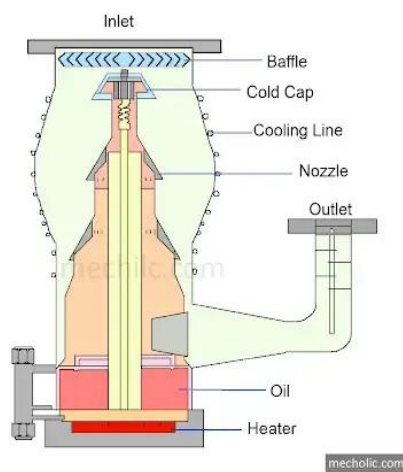
- B

ersihkan area kerja setelah perbaikan dan pastikan tidak ada alat atau bahan yang tertinggal.

- B

uat laporan perbaikan yang mencakup tindakan yang telah dilakukan, komponen

yang diganti, serta hasil pengujian dan kalibrasi setelah perbaikan.



Sumber: <https://www.mecholic.com/2024/03/diffusion-pump.html>

Gambar 31. Pompa vakum difusi

c)

P

ompa vakum cryogenic

Perbaikan yang sering dilakukan pada pompa vakum cryogenic adalah regenerasi, yang bertujuan untuk mengembalikan kinerja pompa setelah terjadinya penurunan efisiensi akibat penumpukan material atau pengurangan kapasitas penghisapan. Prosedur regenerasi harus dilakukan sesuai dengan manual operasi pabrikan untuk memastikan pompa bekerja kembali dengan optimal dan menghindari kerusakan lebih lanjut.

Berikut adalah prosedur umum regenerasi pada pompa vakum cryogenic yang dapat dilakukan sesuai dengan panduan pabrikan:

1)

P

ersiapan dan Keamanan:

-

M

atikan pompa vakum cryogenic dan pastikan sistem dalam keadaan aman sebelum memulai pekerjaan. Pompa harus dalam kondisi tidak beroperasi dan tidak ada aliran listrik.

-

G

unakan alat pelindung diri (APD), seperti sarung tangan, pelindung mata, dan pelindung wajah, untuk melindungi diri dari bahan berbahaya yang mungkin terlibat

selama regenerasi.

-

P

astikan area kerja bebas dari bahaya dan siap untuk menerima peralatan dan komponen pompa yang akan diproses.

2)

P

engosongan dan Pemanasan Pompa:

-

L

epaskan komponen yang dapat dipisahkan, seperti pelindung atau komponen lainnya yang menghalangi akses ke bagian dalam pompa.

-

P

emanasan awal pompa untuk menghilangkan material beku atau cair yang mungkin ada di dalam pompa. Regenerasi seringkali melibatkan pemanasan pompa secara perlahan untuk menghindari kerusakan akibat perubahan suhu yang mendadak. Prosedur pemanasan ini biasanya dilakukan sesuai dengan panduan manual pabrikan.

3)

R

egenerasi Media Cryogenic:

-

Regenerasi pada pompa vakum cryogenic umumnya melibatkan pemanasan komponen atau media penyerap cryogenic (misalnya, zeolit, charcoal atau bahan adsorben lainnya) yang digunakan untuk menangkap molekul gas atau uap di suhu rendah.

-

Pemanasan media cryogenic dilakukan pada suhu yang ditentukan oleh pabrikan untuk memastikan bahan adsorben dapat melepaskan gas yang telah tertangkap.

-

Proses pemanasan ini harus dilakukan secara bertahap untuk menghindari stres termal yang dapat merusak pompa atau media.

4)

P

embersihan dan Pemeriksaan Komponen:

-

S

etelah proses regenerasi selesai, bersihkan bagian dalam pompa dari sisa-sisa material atau kotoran yang mungkin tertinggal setelah pemanasan.

-

P

eriksa komponen seperti seal, gasket, dan komponen lainnya yang terlibat dalam

sistem vakum cryogenic. Ganti komponen yang rusak atau aus sesuai dengan rekomendasi pabrikan.

- P

astikan media adsorben yang digunakan dalam pompa tidak mengalami penurunan kualitas atau kerusakan. Jika media sudah terlalu kotor atau tidak efektif, penggantian media cryogenic dapat diperlukan.

5) P

engujian dan Kalibrasi:

- S

etelah regenerasi selesai dan komponen pompa dipasang kembali, lakukan pengujian pompa untuk memastikan bahwa kinerja vakum sudah kembali optimal.

- K

alibrasi pompa jika diperlukan, untuk memastikan bahwa sistem vakum berfungsi sesuai dengan spesifikasi pabrikan.

- P

astikan tidak ada kebocoran atau gangguan pada sambungan yang dapat mengurangi efisiensi pompa.

6) D

okumentasi:

- B

ersihkan area kerja dan pastikan tidak ada bahan atau alat yang tertinggal.

- B

uat laporan perbaikan yang mencakup rincian regenerasi yang telah dilakukan, komponen yang diperiksa atau diganti, serta hasil pengujian dan kalibrasi.

7) P

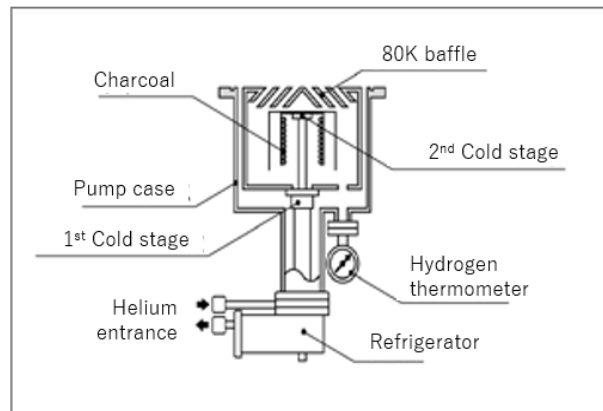
mencegahan dan Pemeliharaan Rutin:

- S

etelah melakukan regenerasi, pastikan untuk melakukan pemeliharaan rutin dan perawatan berkala sesuai dengan manual pabrikan untuk menjaga kinerja pompa vakum cryogenic.

- P

emantauan berkala terhadap suhu, tekanan, dan kinerja pompa akan membantu mencegah masalah yang lebih besar di masa depan.



Sumber: <https://showcase.ulvac.co.jp/en/how-to/product-knowledge02/cryo-pump.html>

Gambar 32. Pompa Cryogenic

d)

P

ompa vakum turbo molekuler

Pompa vakum turbo molekuler (*turbo pump*) adalah salah satu komponen kunci dalam sistem siklotron, yang digunakan untuk mencapai kevakuman tingkat tinggi, di samping pompa cryogenic. Pompa vakum turbo molekuler memiliki kemampuan untuk menghasilkan tekanan rendah pada sistem vakum, terutama dalam kondisi vakum tinggi dan ultratinggi. Perbaikan yang sering dilakukan pada pompa turbo molekuler umumnya berkaitan dengan pemeliharaan dan penggantian komponen yang aus atau rusak, seperti rotor, bantalan, dan sistem pelumasan.

1)

P

erbaikan yang Sering Dilakukan pada Pompa Vakum Turbo Molekuler

•

P

embersihan dan Penggantian Filter Udara:

Filter udara yang terpasang pada pompa turbo molekuler perlu dibersihkan atau diganti secara berkala untuk mencegah kotoran dan debu masuk ke dalam sistem. Kotoran dapat mengganggu rotor dan mengurangi kinerja pompa.

•

P

enggantian Bantalan atau Bearing:

Bantalan (bearing) pada pompa turbo molekuler berfungsi untuk mendukung rotor yang berputar pada kecepatan sangat tinggi. Jika bantalan aus atau rusak, hal ini dapat menyebabkan getaran berlebihan, kebocoran vakum, atau kerusakan lebih

lanjut pada rotor. Penggantian bantalan diperlukan jika suara aneh atau getaran yang tidak normal terdeteksi.

-

P

enggantian Rotor:

Rotor adalah komponen utama dalam pompa turbo molekuler yang berputar dengan kecepatan tinggi untuk meningkatkan aliran gas. Kerusakan pada rotor dapat mengurangi efisiensi vakum. Jika rotor mengalami kerusakan fisik atau ketidakseimbangan, penggantian rotor harus dilakukan.

-

P

engecekan dan Penggantian Sistem Pelumasan:

Sistem pelumasan pada pompa turbo molekuler, yang membantu mengurangi gesekan antar komponen, harus diperiksa secara berkala. Jika sistem pelumasan tidak berfungsi dengan baik atau oli pelumas telah terkontaminasi, pompa tidak akan berfungsi secara optimal. Penggantian oli pelumas atau pemeriksaan sistem pelumasan sangat penting.

-

P

emeriksaan Kebocoran Vakum:

Kebocoran pada sambungan pompa atau saluran vakum dapat menurunkan performa pompa turbo molekuler. Pemeriksaan berkala pada seal dan gasket harus dilakukan untuk mencegah kebocoran.

2)

P

rosedur Penggantian Komponen pada Pompa Vakum Turbo Molekuler

Langkah-langkah Penggantian Bantalan atau Bearing:

-

M

atikan dan Lepaskan Pompa:

Matikan pompa dan pastikan sistem dalam keadaan aman. Lepaskan pompa vakum dari sistem untuk memudahkan akses ke komponen internal.

-

L

epaskan Komponen Pelindung:

Buka pelindung luar pompa dan lepaskan kabel atau koneksi lainnya yang menghalangi akses ke bagian dalam pompa.

•

L

lepaskan Rotor:

Lepaskan rotor dari poros pompa. Biasanya, rotor dikunci dengan baut atau klip yang perlu dilepas dengan hati-hati. Gunakan alat khusus jika diperlukan untuk memastikan rotor terlepas tanpa merusak komponen lainnya.

•

G

ganti Bantalan atau Bearing:

Setelah rotor dilepas, bantalan atau bearing yang aus dapat diakses. Ganti bantalan yang rusak dengan komponen baru yang sesuai dengan spesifikasi pabrikan.

•

P

pasang Kembali Rotor dan Komponen:

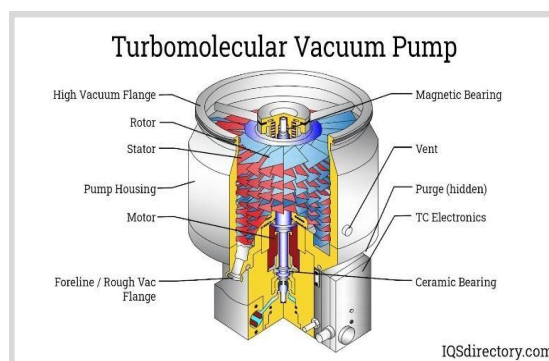
Setelah mengganti bearing, pasang kembali rotor dan pastikan posisi rotor sesuai dengan ketentuan pabrikan. Pastikan rotor berputar dengan lancar tanpa adanya hambatan atau ketidakseimbangan.

•

P

periksa dan Pengujian:

Setelah komponen baru terpasang, lakukan pengujian untuk memastikan pompa berfungsi dengan baik. Periksa kinerja vakum dan pastikan tidak ada kebocoran udara atau masalah lain yang dapat memengaruhi performa pompa.



Sumber :
<https://www.indiamart.com/proddetail/turbo-molecular-pump-2850295493212.html>

Sumber : <https://www.egypt-business.com/ticker/details/1801-global-turbo-molecular-pumps-industry-key-manufacturers-analysis-2022/201586>

Gambar 33. Pompa Turbo Molekuler

istem Pemercepat dan Osilasi

Prosedur perawatan sistem pemercepat dan osilasi pada mesin siklotron bertujuan untuk menjaga kinerja resonator dan sumber radio frekuensi (RF) agar tetap optimal dalam menghasilkan medan listrik yang stabil untuk mempercepat partikel bermuatan. Sistem ini melibatkan komponen utama seperti resonator, elektroda "Dee," pembangkit RF dan komponen pendukung lainnya. Komponen-komponen ini sangat kritis karena berperan dalam menghasilkan medan listrik dan RF yang diperlukan untuk percepatan partikel. Berikut adalah perbaikan yang sering dilakukan pada masing-masing bagian:

a)

E

elektroda Dee

Fungsi: Elektroda Dee adalah bagian utama yang menciptakan medan listrik osilasi untuk mempercepat partikel di dalam ruang vakum siklotron.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) Pembersihan Elektroda:

Kotoran, residu, atau partikel yang menempel pada elektroda dapat mengganggu distribusi medan listrik dan menyebabkan penurunan efisiensi percepatan. Pembersihan elektroda dilakukan menggunakan bahan non-abrasif yang tidak merusak permukaan elektroda.

2) Pemeriksaan Ketebalan dan Kerataan Permukaan:

Jika elektroda Dee mengalami keausan atau deformasi, kinerja medan listrik dapat terganggu. Elektroda yang rusak perlu diperbaiki atau diganti.

3) Pemeriksaan Sambungan dan Isolator:

Sambungan elektroda ke sistem penggerak RF dan isolator perlu diperiksa secara berkala untuk mencegah kebocoran arus atau masalah kelistrikan.

4) Penyesuaian Geometri Dee:

Jika ada ketidakseimbangan atau perubahan bentuk pada elektroda Dee, kalibrasi ulang dilakukan untuk memastikan distribusi medan listrik tetap optimal.

b)

P

embangkit Radio Frekuensi (RF)

Fungsi: Pembangkit RF menghasilkan sinyal radio frekuensi yang digunakan untuk menciptakan medan listrik osilasi yang diperlukan untuk mempercepat partikel.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) Pemeriksaan dan Kalibrasi Frekuensi:

Frekuensi RF harus sesuai dengan nilai resonansi partikel yang dipercepat. Penyimpangan frekuensi dapat mengurangi efisiensi akselerasi. Perbaikan meliputi penyesuaian generator RF untuk memastikan sinkronisasi frekuensi.

2) Penggantian Tabung Elektron atau Komponen Amplifikasi:

Tabung elektron (vacuum tube) atau amplifier solid-state yang aus atau rusak diganti. Komponen ini sangat penting untuk memperkuat sinyal RF.

3) Pemeriksaan Sistem Pendingin RF:

Sistem RF menghasilkan panas tinggi saat beroperasi, sehingga sistem pendingin (air atau udara) perlu diperiksa dan dirawat untuk mencegah overheating.

4) Penggantian Kabel dan Konektor RF:

Kabel atau konektor RF yang aus atau rusak dapat menyebabkan kehilangan daya dan gangguan pada transmisi sinyal RF. Komponen ini perlu diganti secara berkala.

c)

R

esonator

Fungsi: Resonator adalah bagian dari sistem RF yang memperkuat gelombang radio agar dapat menciptakan medan listrik osilasi yang kuat dan efisien.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

•

P

Pemeriksaan Cavity Resonator:

Resonator cavity diperiksa untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik, retakan, atau deformasi yang dapat mengganggu resonansi.

•

P

Pembersihan Permukaan Internal:

Permukaan cavity resonator harus bersih dari debu atau oksidasi untuk mencegah penurunan efisiensi resonansi dan potensi arcing (loncatan listrik).

•

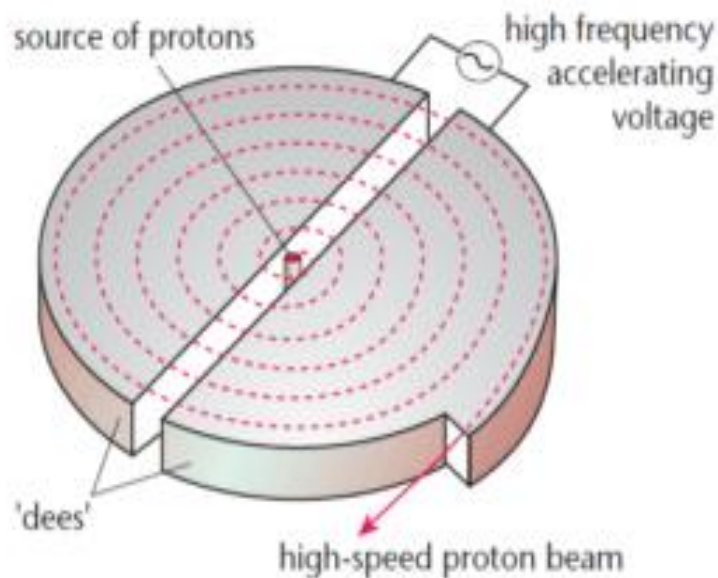
P

Penyesuaian Resonansi:

Jika resonator kehilangan sinkronisasi dengan frekuensi RF, kalibrasi ulang dilakukan dengan menyesuaikan parameter tuning mekanik atau elektronik pada resonator.

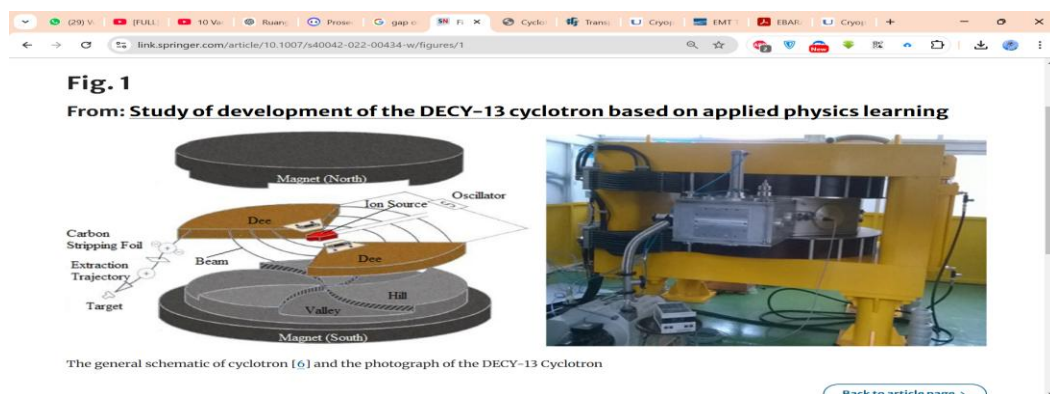
• Penggantian Komponen Mekanikal:

Komponen seperti tuning rods atau coupling loops yang rusak atau aus diganti untuk menjaga resonansi pada frekuensi yang diinginkan.



Sumber : https://thefactfactor.com/facts/pure_science/physics/particle-accelerator-cyclotron/5916/

Gambar 34. Lintasan partikel melewati Dee



Sumber : <https://link.springer.com/article/10.1007/s40042-022-00434-w/figures/1>

Gambar 35. Lintasan partikel (kiri), siklotron (kanan)

Prosedur Umum Perbaikan RF:

a)

P

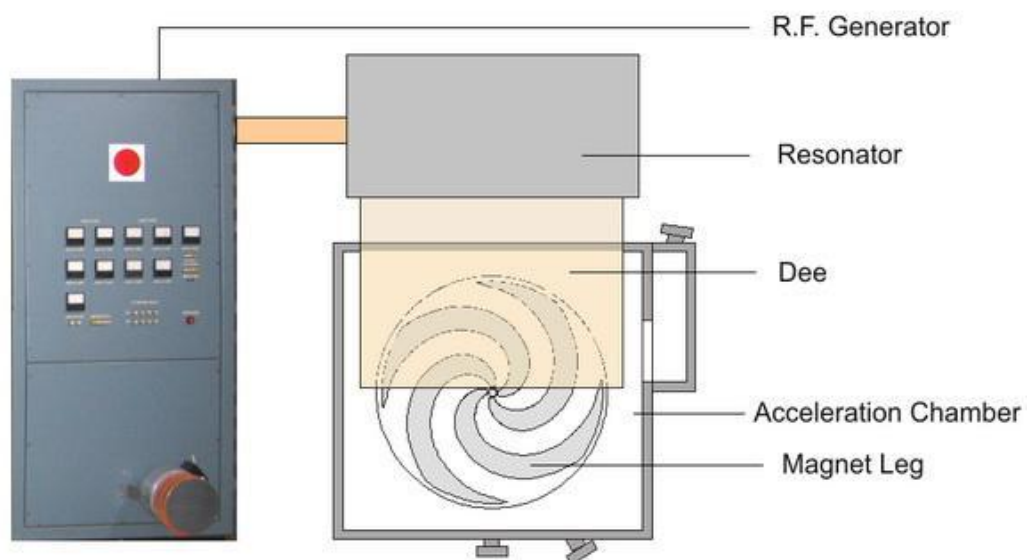
ersiapan dan Keamanan:

•

P

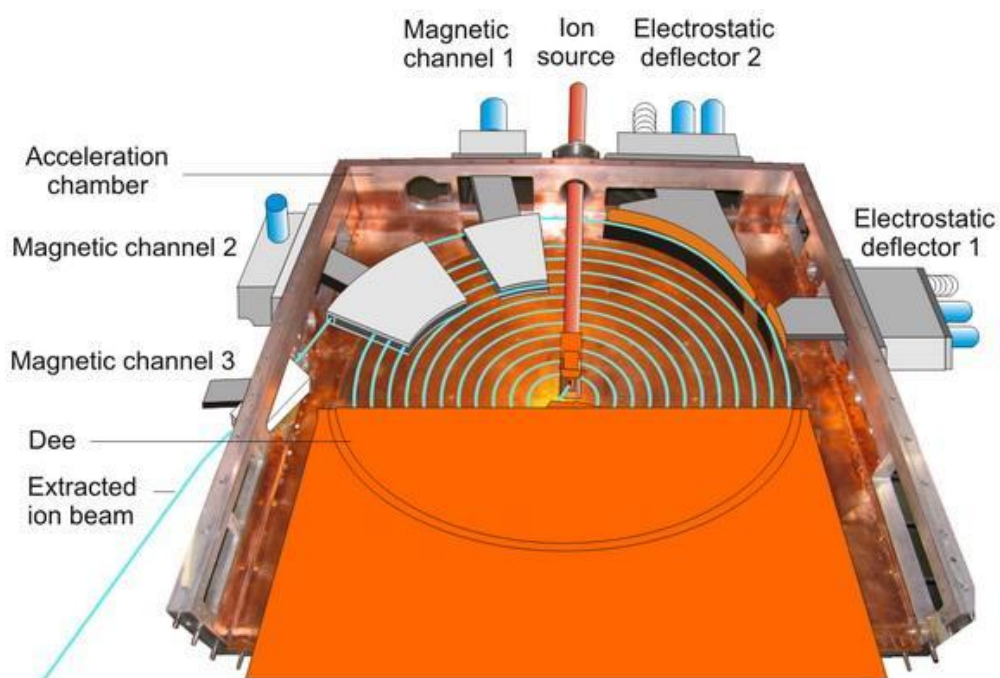
astikan mesin siklotron dalam kondisi mati dan aman sebelum memulai pekerjaan.

- G
gunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, seperti sarung tangan anti-statis, kacamata pelindung, dan pelindung dari radiasi.
- b) Inspeksi Visual:
 - L
lakukan pemeriksaan visual pada elektroda, pembangkit RF, dan resonator untuk mendeteksi adanya kerusakan fisik, korosi, atau keausan.
- c) P
membersihkan Komponen:
 - B
bersihkan komponen secara hati-hati untuk menghilangkan kotoran atau residu yang dapat mengganggu operasi.
- d) Penggantian dan Kalibrasi:
 - G
ganti komponen yang aus atau rusak dengan komponen baru sesuai spesifikasi pabrikan.
 - K
kalibrasi ulang elektroda Dee, pembangkit RF, dan resonator untuk memastikan sinkronisasi medan listrik.
- e) Pengujian dan Verifikasi:
 - N
jalankan kembali sistem dan uji kinerja percepatan partikel untuk memastikan semua komponen berfungsi sesuai spesifikasi.
- f) Dokumentasi:
 - C
catat semua perbaikan dan penggantian yang dilakukan, termasuk hasil pengujian.



Sumber : https://www.ifj.edu.pl/str/dc/generator_en.html

Gambar 36. Skema sub sistem RF generator



Sumber : https://www.ifj.edu.pl/str/dc/ekstrakcja_en.html

Gambar 37. Ekstraksi berkas

4.

S

istem Transfer Berkas

Sistem transfer berkas dalam mesin siklotron berfungsi untuk mengarahkan partikel bermuatan dari lintasan percepatan ke target akhir secara tepat dan efisien. Komponen utama dalam sistem ini meliputi deflektor, steering magnet, quadrupole magnet, combo magnet, dan switching magnet. Berikut adalah perbaikan yang sering dilakukan pada masing-masing komponen tersebut:

a)

D

eflektor (Termasuk Foil Karbon)

Fungsi: Deflektor digunakan untuk membelokkan berkas partikel bermuatan agar keluar dari orbit melingkar dan menuju jalur transfer ke target.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1)

P

enggantian Foil Karbon:

-

F

oil karbon sering mengalami keausan atau kerusakan akibat paparan berkas partikel bermuatan berenergi tinggi. Foil yang aus atau sobek perlu diganti secara berkala.

-

P

enggantian dilakukan dengan hati-hati menggunakan alat khusus agar foil terpasang dengan rata dan tidak mengalami tegangan berlebih.

2)

P

embersihan dan Kalibrasi Deflektor Elektrostatik:

-

D

eflektor elektrostatik (jika digunakan) harus dibersihkan dari debu atau residu yang dapat mengganggu medan listrik. Kalibrasi ulang dilakukan untuk memastikan tegangan listrik yang dihasilkan sesuai.

3)

P

emeriksaan Isolator dan Sambungan Tegangan Tinggi:

-

I

isolator pada deflektor diperiksa untuk mencegah kebocoran arus atau kerusakan akibat tegangan tinggi.

b) S

Steering Magnet

Fungsi: Steering magnet digunakan untuk mengarahkan berkas partikel dengan sudut tertentu selama proses transfer.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) P

Inspeksi dan Kalibrasi Kekuatan Medan Magnet:

• S

Steering magnet diperiksa dan dikalibrasi untuk memastikan medan magnet yang dihasilkan memiliki intensitas dan orientasi yang sesuai. Penyimpangan medan dapat mengganggu arah berkas.

2) P

Pergantian Kumputan yang Aus atau Rusak:

• K

Kumputan elektromagnet yang mengalami overheating, keausan, atau kerusakan akibat lonjakan arus listrik perlu diganti.

3) P

Inspeksi Sistem Pendingin Magnet:

• M

Magnet pendingin (jika menggunakan sistem air atau cairan pendingin lainnya) harus diperiksa untuk mencegah overheating yang dapat merusak kumputan.

c) Q

Quadrupole Magnet

Fungsi: Quadrupole magnet berfungsi untuk memfokuskan berkas partikel agar tetap terkonsentrasi selama transfer.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) P

Inspeksi Kalibrasi Medan Focusing:

• M

Medan magnet quadrupole diperiksa dan disesuaikan untuk memastikan fungsi pemfokusan bekerja dengan optimal. Penyimpangan kecil dapat menyebabkan penyebaran berkas.

2) P
embersihan dan Pemeriksaan Kumparan:

• K
umpan elektromagnet diperiksa untuk mendeteksi kerusakan akibat overheating atau korosi. Pembersihan residu atau debu dilakukan untuk menjaga kinerja kumpan.

3) P
enggantian Komponen Pendingin:

• S
istem pendingin untuk quadrupole magnet, seperti pipa pendingin atau pompa, diperiksa dan diganti jika terdapat kebocoran atau penurunan efisiensi.

d) C
ombo Magnet

Fungsi: Combo magnet menggabungkan fungsi steering dan fokus, membantu membelokkan sekaligus menjaga konsentrasi berkas.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) K
alibrasi Kombinasi Medan:

• K
arena combo magnet menggabungkan dua fungsi, kalibrasi medan harus dilakukan dengan sangat presisi untuk memastikan berkas mengikuti lintasan yang benar tanpa kehilangan fokus.

2) P
emeriksaan Integritas Struktur Magnet:

• S
truktur mekanik magnet diperiksa untuk memastikan tidak ada deformasi atau keausan yang memengaruhi distribusi medan.

e) S
witching Magnet

Fungsi: Switching magnet digunakan untuk mengalihkan jalur berkas ke berbagai target sesuai kebutuhan aplikasi.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) P
enggantian atau Perbaikan Sistem Penggerak:

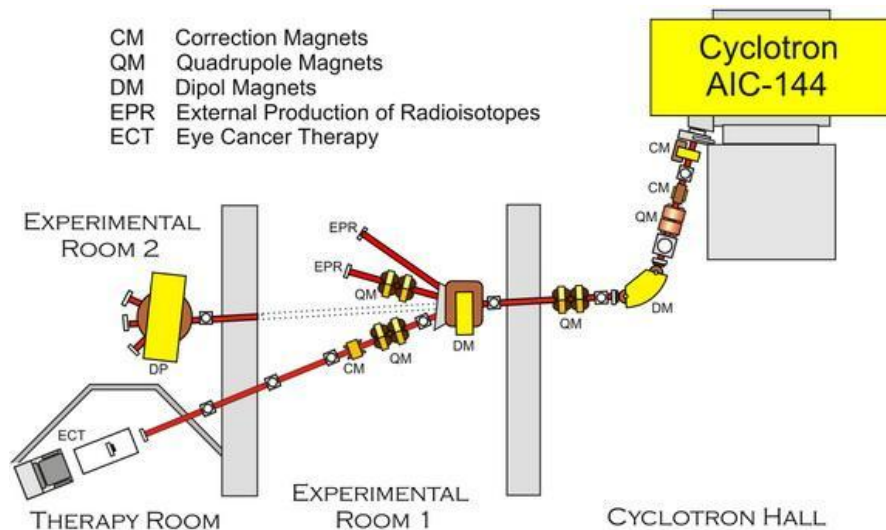
- S
istem mekanis yang digunakan untuk mengatur posisi switching magnet diperiksa dan diperbaiki jika terjadi keausan atau kegagalan operasi.

2) P
emeriksaan Sistem Kendali Magnet:

- S
istem kontrol yang mengatur intensitas medan switching magnet diperiksa untuk memastikan respons yang cepat dan akurat saat mengalihkan berkas.

3) P
embersihan dan Pemeliharaan Kumparan Magnet:

- K
umparan magnet diperiksa dan dibersihkan untuk menghindari overheating atau kerusakan akibat debu atau residu.



Sumber : https://www.ifj.edu.pl/str/dc/transport_en.html

Gambar 38. Sub sistem beam transport

Prosedur Umum Perbaikan:

1) P
ersiapan:

- M
atikan sistem siklotron dan pastikan sistem aman untuk diperbaiki.

- L
epaskan komponen dari sistem jika diperlukan, terutama untuk penggantian foil karbon atau kumparan magnet.
- 2) I
nspeksi Visual:
 - L
akukan pemeriksaan visual pada semua komponen untuk mendeteksi keausan, kerusakan fisik, atau penyimpangan medan magnet.
- 3) P
embersihan Komponen:
 - B
ersihkan komponen dari debu, oksidasi, atau residu untuk menjaga kinerja optimal.
- 4) P
enggantian Komponen yang Rusak:
 - G
anti komponen yang aus atau rusak, seperti foil karbon, kumparan magnet, atau sistem pendingin.
- 5) K
alibrasi dan Pengujian:
 - S
etelah penggantian atau perbaikan selesai, lakukan kalibrasi medan magnet dan uji coba lintasan berkas untuk memastikan semua komponen bekerja sesuai spesifikasi.
- 6) D
okumentasi:
 - C
atat semua tindakan perbaikan, komponen yang diganti, dan hasil pengujian.

5. S **Sistem Target (Target Station)**

Sistem target (*target station*) pada siklotron adalah tempat di mana partikel bermuatan diarahkan untuk menghasilkan produk akhir, seperti isotop radioaktif untuk aplikasi medis atau penelitian. Perbedaan desain target station antara

siklotron bergantung pada jenis target yang digunakan (misalnya, target cair, gas, atau padat) dan produk yang ingin dihasilkan. Berikut adalah perbaikan yang sering dilakukan pada sistem target:

a)

T

Target Holder dan Cooling System

Fungsi: Target holder menahan material target pada posisi yang tepat, sementara sistem pendingin (biasanya air atau helium) menjaga target tetap dalam suhu aman selama iradiasi.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1)

P

Penggantian Target Holder:

-

T

Target holder sering mengalami kerusakan akibat panas tinggi atau radiasi intensif. Jika deformasi atau kerusakan terlihat, target holder perlu diganti.

2) Pemeriksaan dan Pembersihan Pendingin:

-

S

Sistem pendingin diperiksa untuk memastikan tidak ada kebocoran, sumbatan, atau penurunan efisiensi pendinginan. Penggantian pipa pendingin atau seal dilakukan jika terdapat kerusakan.

3) Kalibrasi Posisi Target:

-

P

Posisi target harus diatur ulang untuk memastikan partikel bermuatan mengenai target dengan presisi. Kalibrasi diperlukan jika terdapat penyimpangan posisi.

b)

T

Target Material

Fungsi: Target material (misalnya, cairan seperti air beroksigen, gas seperti argon, atau logam padat seperti niobium) adalah bahan yang akan ditembak dengan partikel untuk menghasilkan isotop.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1)

P

Penggantian Material Target:

- T
arget material yang habis atau kontaminasi akibat iradiasi perlu diganti dengan material baru sesuai spesifikasi.

2) P
embersihan Kontaminasi:

- J
ika ada residu atau kontaminasi pada ruang target atau saluran pengisian target, dilakukan pembersihan dengan bahan kimia khusus yang tidak merusak komponen.

c) B

Beam Stopper atau Collimator

Fungsi: Beam stopper menyerap berkas partikel setelah target untuk mencegah kerusakan pada area di belakang target, sementara collimator membantu mengarahkan berkas secara presisi.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) P
enggantian atau Perbaikan Beam Stopper:

- B
eam stopper yang mengalami keausan akibat paparan partikel terus-menerus diganti. Materialnya biasanya dibuat dari logam tahan panas seperti tungsten atau grafit.

2) K
alibrasi Collimator:

- C
ollimator diperiksa dan disesuaikan untuk memastikan berkas partikel tetap terfokus dan mengenai target dengan akurasi tinggi.

d) S

System Transfer Material Target

Fungsi: Sistem ini mengangkut material target (misalnya cairan radioaktif yang dihasilkan) dari target station ke laboratorium atau ruang produksi.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

- 1) P
 erbaikan atau Penggantian Pompa Transfer:
- P
 ompa cairan atau sistem gas yang mentransfer material target diperiksa untuk memastikan tidak ada kebocoran atau sumbatan. Jika pompa rusak, perlu diganti.
- 2) P
 embersihan Saluran Transfer:
- S
 aluran transfer sering dibersihkan untuk mencegah penyumbatan akibat residu material atau produk yang dihasilkan selama iradiasi.
- 3) P
 emeriksaan Sistem Valve:
- V
 alve pengatur aliran diperiksa untuk memastikan tidak ada kebocoran dan aliran material tetap terkendali.
- e) R
adiation Shielding
 Fungsi: Radiation shielding melindungi operator dan lingkungan dari paparan radiasi selama operasi siklotron.
 Perbaikan yang Sering Dilakukan:
- a. Penggantian atau Perbaikan Shielding Material:
- J
 ika pelindung radiasi, seperti beton atau timbal, mengalami kerusakan fisik atau kebocoran radiasi, dilakukan penggantian atau perbaikan.
- b. P
 emeriksaan dan Pengujian Kebocoran Radiasi:
- S
 istem shielding diuji menggunakan alat deteksi radiasi untuk memastikan tidak ada kebocoran yang membahayakan operator.
- f) M
onitoring dan Sistem Kendali

Fungsi: Sistem ini memantau kondisi target station, termasuk suhu, tekanan, dan aliran pendingin atau material target.

Perbaikan yang Sering Dilakukan:

1) K

kalibrasi Sensor dan Instrumen:

• S
Sensor suhu, tekanan, dan aliran diperiksa dan dikalibrasi ulang untuk memastikan pembacaan akurat.

2) P

penggantian Sistem Kendali Elektronik:

• M
Modul kontrol atau perangkat lunak yang mengalami kerusakan diperbaiki atau diganti untuk menjaga kendali sistem yang tepat.

Prosedur Perbaikan Umum Target Station:

a) P

Persiapan dan Keamanan:

• P
Pastikan siklotron dalam kondisi mati dan aman sebelum melakukan pekerjaan.

• G
Gunakan alat pelindung diri (APD), termasuk sarung tangan anti radiasi, pelindung wajah, dan detektor radiasi portabel.

b) I

Inspeksi Visual:

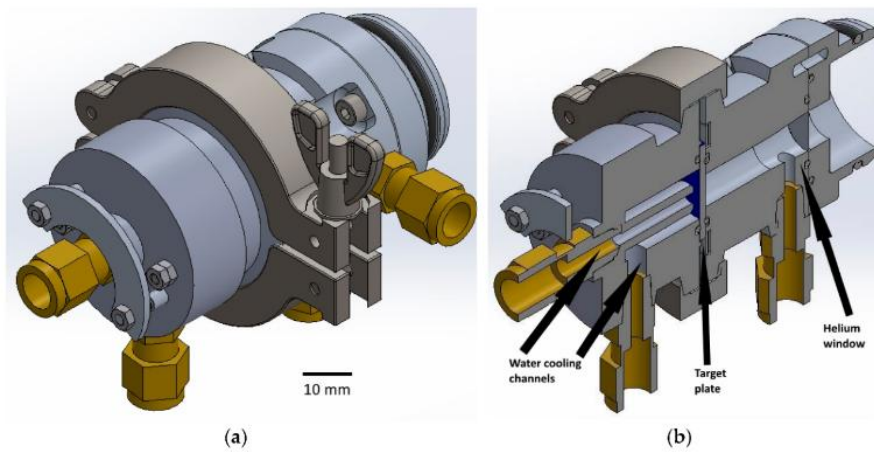
• L
Lakukan pemeriksaan fisik pada target station untuk mendeteksi kerusakan atau keausan.

c) P

Pembersihan:

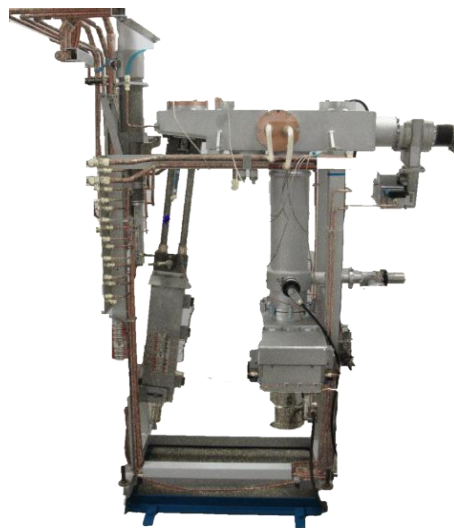
• B
Bersihkan komponen dari residu material atau kontaminasi radioaktif menggunakan bahan pembersih yang sesuai.

d)	P
enggantian Komponen:	
•	G
anti komponen yang rusak dengan komponen baru sesuai spesifikasi pabrikan.	
e)	P
engujian dan Kalibrasi:	
•	S
etelah perbaikan, lakukan pengujian dan kalibrasi untuk memastikan target station berfungsi dengan benar.	
f)	D
okumentasi:	
•	C
atat semua tindakan perbaikan, penggantian komponen, dan hasil pengujian.	
a)	J
enis Target yang Digunakan	
1)	T
arget Padat	
•	L
ogam, keramik, atau bahan lain yang dipadatkan, bisa juga dengan cara pelapisan (<i>plating</i>).	
•	A
plikasi: Produksi isotop radioaktif tertentu (misalnya, Cu^{64} , Ge^6).	



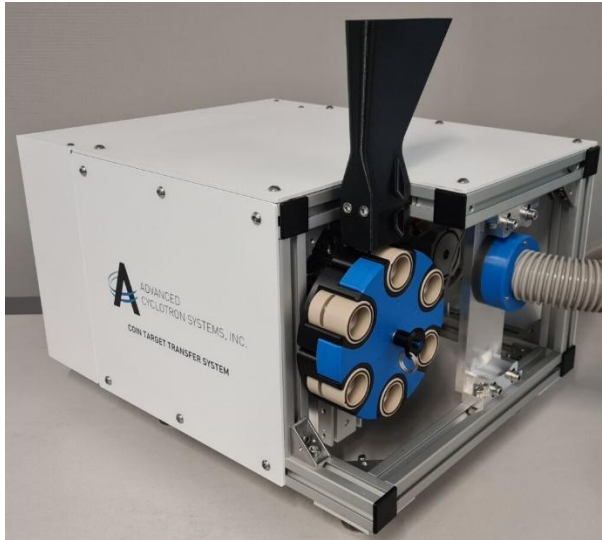
Sumber : <https://www.mdpi.com/2410-390X/3/1/16>

Gambar 39. Solid Target Holder



Sumber :
<https://advancedcyclotron.com/targetry>
Gambar 40. Solid target station

RuangTarget padat CS-30



Sumber : <https://advancedcyclotron.com/targetry>

Gambar 41. Solid Target Transfer



Gambar 42. Solid Target Processing

2)

target Cair

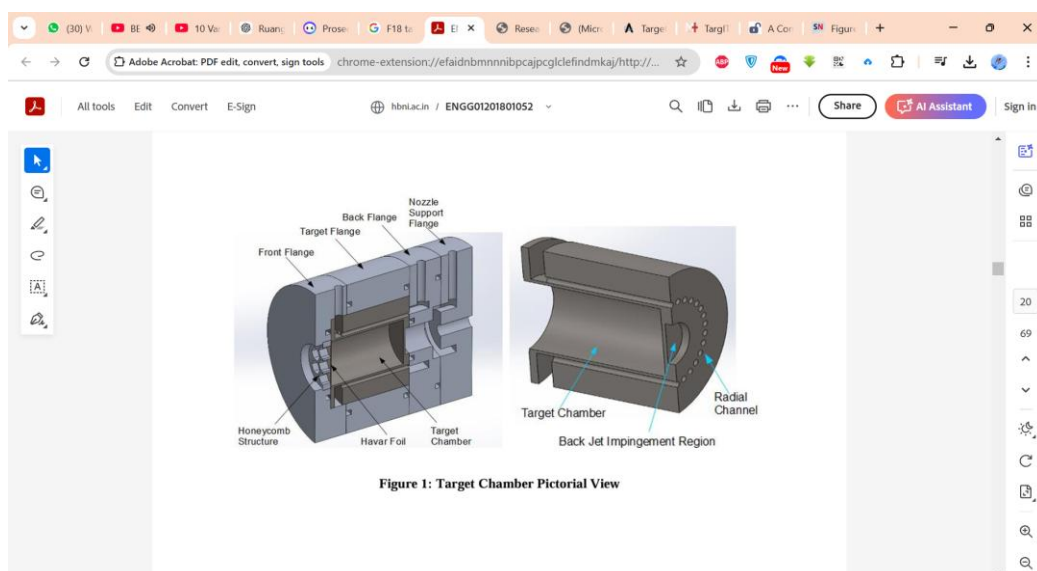
- ir yang diperkaya isotop tertentu (seperti O^{18} dalam air).

- plikasi: Produksi isotop F^{18} untuk PET.

T

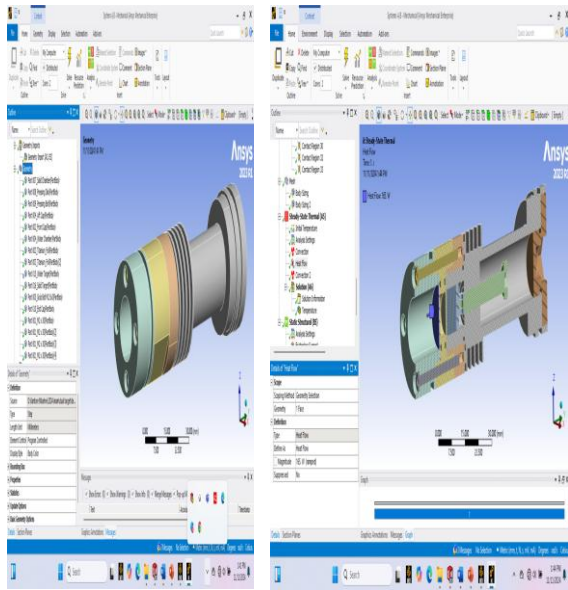
A

A



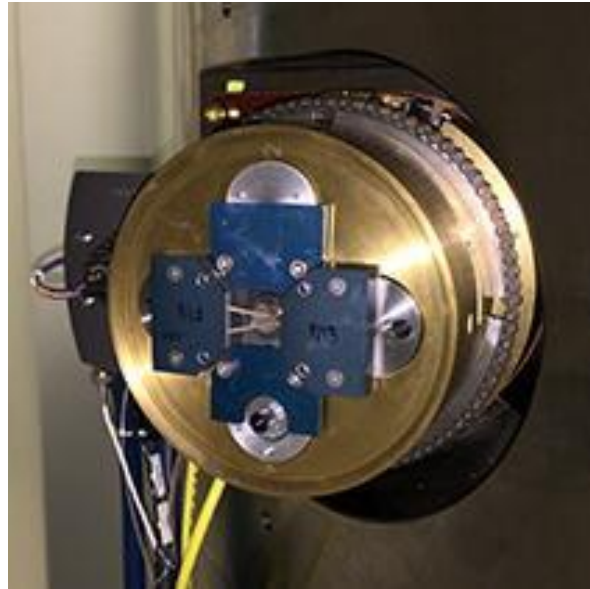
Sumber : <http://www.hbni.ac.in/phdthesis/engg/ENGG01201801052.pdf>

Gambar 43. Liquid Target Holder

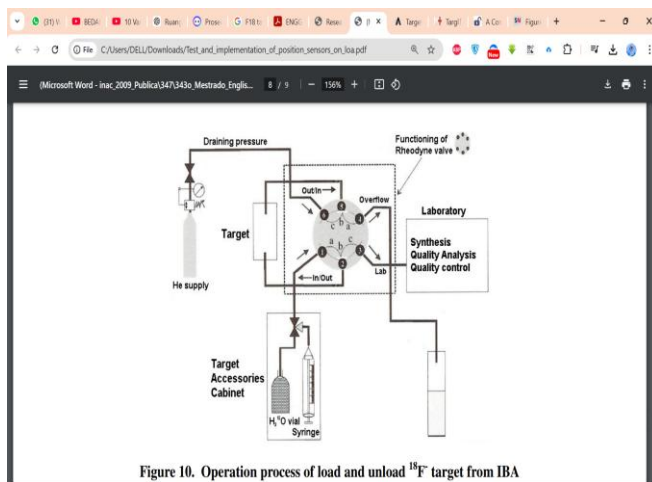


Sumber : <https://hsc.mb.ca/adults/winnipeg-cyclotron-facility/>

Gambar 44. Dual Target Holder



Gambar 45. Corousel Target



Sumber:

<https://www.researchgate.net/publication/215445654>

Gambar 46. Loading/unloading proses F-18



Sumber:

<https://hsc.mb.ca/adults/winnipeg-cyclotron-facility/>

Gambar 47. FDG dan F-18

3)

arget Gas

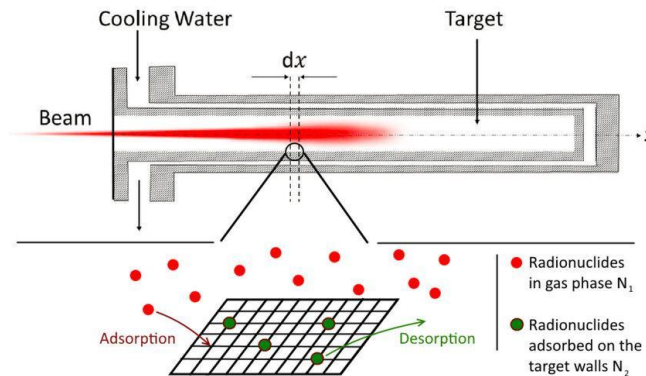
T

- as seperti N^{14} , He^3 , Ne^{20}

G

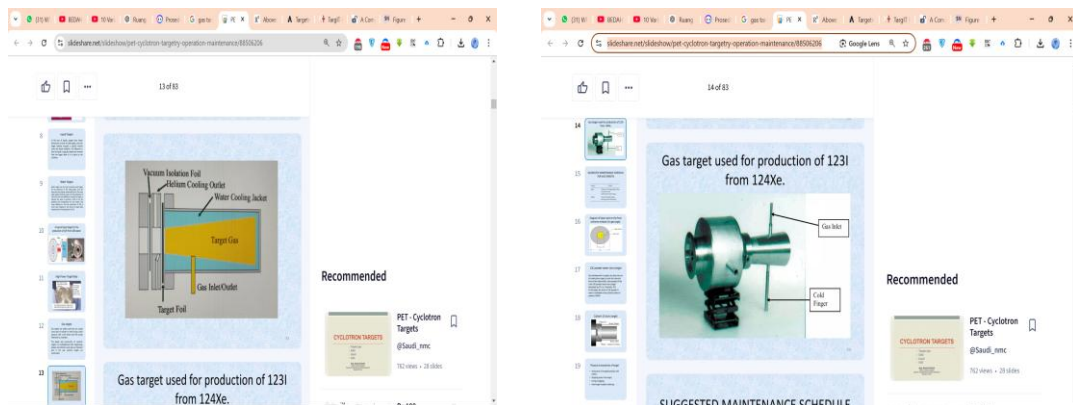
- plikasi: Produksi isotop seperti O^{15} , C^{11}

A



Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Above-cross-sectional-schematic-of-a-cylindrical-gas-target-system-Below-activity-from_fig1_327485900

Gambar 48. Skematik Aktivasi Target Gas



Sumber: <https://www.slideshare.net/slideshow/pet-cyclotron-targetry-operation-maintenance/88506206>

Gambar 49. Holder Target Gas



Sumber: <https://advancedcyclotron.com/targetry/>

Gambar 50. Gas Target Station

C.

O

VERHAUL

Overhaul adalah proses perbaikan atau pemeliharaan menyeluruh pada suatu mesin, perangkat, atau sistem dengan tujuan mengembalikannya ke kondisi optimal seperti semula atau mendekati kondisi baru. Proses overhaul biasanya melibatkan pembongkaran komponen utama, pemeriksaan detail setiap bagian, pembersihan, penggantian komponen yang aus atau rusak, serta perakitan ulang.

Dalam kondisi tertentu, siklotron juga memerlukan tindakan overhaul. Sebagai contoh, pada siklotron CS-30 pernah terjadi kebocoran vakum yang cukup besar sehingga kondisi vakum tidak dapat mencapai tingkat operasi yang disyaratkan. Meskipun beberapa potensi penyebab telah dievaluasi, hasil yang diinginkan belum tercapai. Hal ini menimbulkan kecurigaan adanya kerusakan pada komponen lain di dalam siklotron, yang memerlukan tindakan overhaul karena melibatkan pembongkaran komponen dalam skala besar.

Berdasarkan hipotesis, diduga terjadi kerusakan pada O-ring yang terdapat di bawah magnet pole atas maupun bawah, mengingat usia siklotron yang sudah cukup tua. Setelah semua dokumen yang diperlukan terkumpul dan prosedur penggantian O-ring dipelajari, pekerjaan penggantian O-ring magnet pole dilaksanakan. Proses ini dilanjutkan dengan pembersihan menyeluruh pada setiap komponen siklotron. Secara garis besar, tahapan overhaul siklotron CS-30 adalah sebagai berikut:

1. **Mengganti O-ring pada Pole Magnet Atas**

Proses ini bertujuan untuk mengganti O-ring yang sudah kaku atau rusak, yang dapat mengganggu kemampuan sistem menjaga kevakuman. Tahapannya adalah sebagai berikut:

a. ***Melepas Baut Pengikat Tutup Tangki:***

1. Baut pengikat tutup tangki dilepas dengan hati-hati.
2. Setelah itu, tutup tangki dikunci bersamaan dengan tangki bawah untuk memastikan posisinya tetap stabil dan tidak terangkat saat tangki dibuka.

b. ***Mengunci Posisi Koil Magnet Atas:***

- Posisi koil magnet atas diamankan dengan sistem penguncian khusus agar tidak bergeser saat proses pengangkatan pole magnet dilakukan.

c. ***Mengangkat Pole Magnet Atas:***

- Pole magnet atas diangkat menggunakan prosedur yang sama seperti saat membuka tangki untuk perawatan area pusat (*central region*).

d. ***Melepas O-ring Lama:***

- O-ring lama yang terpasang di dalam pole magnet dilepas dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan pada alur tempat O-ring berada.

e. ***Membersihkan Ruang O-ring:***

- Area tempat O-ring berada dibersihkan secara menyeluruh untuk menghilangkan kotoran, debu, atau residu yang dapat mengganggu pemasangan O-ring baru atau mengurangi keefektifannya.

f. ***Memasang O-ring Baru:***

- O-ring pengganti dipasang dengan hati-hati ke dalam alur pole magnet atas sesuai prosedur, memastikan posisinya presisi dan tidak terjepit.

g. ***Mengembalikan Tutup Tangki dan Pole Magnet:***

- Tutup tangki dan pole magnet atas dikembalikan ke posisi semula. Proses ini melibatkan penurunan pole magnet secara perlahan untuk menghindari kerusakan pada komponen lain.
- Setelah pole magnet berada di posisi awal, baut pengunci kembali dipasang dan dikencangkan.

Proses ini memerlukan ketelitian tinggi dan pemahaman menyeluruh terhadap struktur siklotron untuk memastikan setiap langkah dilakukan dengan benar dan

aman.

2. **Mengganti O-ring pada Pole Magnet Bawah**

Proses ini lebih kompleks dibandingkan dengan penggantian O-ring pada pole magnet atas karena memerlukan pembongkaran lebih banyak komponen. Berikut tahapannya:

a. **Membuka Tangki Siklotron:**

- Tangki siklotron dibuka sehingga terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian atas dan bawah.
- Prosedur ini serupa dengan yang dilakukan pada perawatan di dalam tangki siklotron atau ruang percepatan.

b. **Membongkar Komponen di Dalam Tangki:**

- Semua komponen yang menempel di bagian atas maupun bawah tangki siklotron dilepas. Komponen yang dilepas meliputi:
 - 1) *Dee*, magnet *hill* dan *valley*
 - 2) *Puller*, konektor RF
 - 3) Beam monitor, *stripper*, sumber ion, dan lainnya
- Setelah semua komponen dilepas, pole magnet atas dikembalikan ke posisinya, seperti saat menutup tangki siklotron secara normal.

c. **Mengaitkan Pole Magnet Atas dan Bawah:**

- Pole magnet atas dan bawah diikat/disatukan menggunakan batang ulir untuk memastikan kedua bagian tersebut terhubung dengan kuat dan stabil.

d. **Mengunci Posisi Koil Magnet Bawah:**

- Posisi koil magnet bawah diamankan agar tidak bergeser selama proses pengangkatan dilakukan.

e. **Mengangkat Pole Magnet:**

- Pole magnet atas dan bawah diangkat bersamaan menggunakan mesin hidrolik, mengikuti prosedur yang sama seperti saat membuka tangki siklotron.
- Proses ini membutuhkan kehati-hatian untuk memastikan keamanan komponen dan sistem mengingat bobot pole yang magnet sangat berat.

f. **Melakukan Pengganjal Pole Magnet:**

- Bagian pole magnet yang sudah diangkat diberi pengganjal yang kokoh untuk memastikan keamanan pekerja selama penggantian O-ring dilakukan.

g. ***Penggantian O-ring Pole Magnet Bawah:***

- O-ring lama dilepas, area tempat O-ring dibersihkan secara menyeluruh, kemudian O-ring baru dipasang dengan presisi di dalam alurnya.

h. ***Mengembalikan Pole Magnet ke Posisi Semula:***

- Pole magnet dikembalikan ke posisi awal dengan mengikuti prosedur yang berkebalikan dari proses pengangkatan.

Catatan:

- Setiap langkah harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan pada komponen atau struktur siklotron.
- Keselamatan pekerja menjadi prioritas utama, terutama saat menangani pole magnet yang berat.
- Setelah proses selesai, sistem harus diuji untuk memastikan kevakuman dan kinerja siklotron kembali sesuai spesifikasi.

3. **Pembersihan Komponen**

Setelah proses penggantian O-ring pole magnet atas dan bawah selesai dilakukan, dilanjutkan pembersihan seluruh komponen sebelum dipasang kembali keposisi semula. Komponen-komponen yang dibersihkan meliputi: *Dee*, Magnet *hill* dan *valley* dan Tangki/Ruang percepatan serta komponen lainnya

Langkah-Langkah Pembersihan

a. ***Membersihkan Permukaan Komponen:***

- Komponen digosok menggunakan kain serat halus untuk menghilangkan debu, kotoran, dan lapisan ringan.
- Kain yang digunakan harus bersih dan tidak meninggalkan serat.

b. ***Pencucian dengan Cairan Kimia:***

- Komponen dicuci menggunakan cairan kimia, seperti alkohol atau aseton, untuk membantu melarutkan kotoran dan kerak pada permukaan.
- Cairan kimia diaplikasikan secukupnya, dengan hati-hati agar tidak merusak lapisan atau material komponen.

c. ***Mengatasi Kerak Membandel:***

- Kerak yang sulit dibersihkan digosok menggunakan **amplas halus** dengan hati-hati.
- Proses ini dilakukan perlahan agar tidak menggerus atau merusak material

asli komponen.

d. **Pemeriksaan Ulang:**

- Setelah pembersihan selesai, setiap komponen diperiksa ulang untuk memastikan tidak ada sisa kotoran atau kerak yang tertinggal.

Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD):

- a. **Masker:** Untuk melindungi dari paparan uap bahan kimia yang dapat membahayakan pernapasan.
- b. **Sarung Tangan:** Untuk melindungi kulit dari kontak langsung dengan bahan kimia.

Pembersihan yang dilakukan dengan benar tidak hanya memastikan kebersihan komponen tetapi juga mendukung performa dan keandalan siklotron setelah proses perbaikan selesai.

D.	R
angkuman	
1.	P
erawatan sub Sistem Siklotron	
a.	P
erawatan Preventif (<i>Preventive Maintenance</i>)	
Tindakan perawatan yang dilakukan secara rutin untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi, meliputi:	
•	I
nspeksi visual terhadap komponen utama seperti sumber ion, sistem Radio Frekuensi (RF), magnet, dan sistem transfer berkas.	
•	K
alibrasi ulang perangkat elektronik seperti generator RF dan magnet.	
•	P
embersihan sistem vakum untuk menghilangkan kontaminasi.	
•	P
engujian tekanan pada sistem vakum.	

b. **P**

Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Perbaikan yang dilakukan setelah terdeteksi adanya kerusakan atau penurunan performa, meliputi:

- I
identifikasi penyebab masalah menggunakan alat diagnostik.
- P
penggantian komponen yang rusak, seperti foil karbon atau katoda sumber ion.
- R
reparasi komponen yang mengalami kegagalan fungsi, seperti deflektor elektrostatik.

c. **P**

Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Tindakan perawatan berdasarkan analisis kondisi komponen menggunakan data *real-time*, meliputi:

- M
monitoring performa komponen secara real-time menggunakan sensor.
- A
analisis data dari sistem kontrol untuk mendeteksi tren penurunan performa.
- P
penggantian atau perbaikan komponen sebelum terjadi kerusakan total.

d. **P**

Perawatan Darurat (*Emergency Maintenance*)

Perbaikan yang dilakukan segera setelah terjadi kerusakan mendadak yang mengganggu operasi siklotron, meliputi:

- I
identifikasi cepat sumber kerusakan.
- I
isolasi komponen yang rusak untuk mencegah kerusakan lanjutan.
- P
perbaikan atau penggantian komponen kritis dengan prioritas tinggi.

2.	P
Prosedur Umum Perbaikan:	
a. Persiapan dan Keamanan:	
•	P
astikan mesin siklotron dalam kondisi mati dan aman sebelum memulai pekerjaan.	
•	G
unakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, seperti sarung tangan anti-statis, kacamata pelindung, dan pelindung dari radiasi.	
b. Inspeksi Visual:	
•	L
akukan pemeriksaan visual untuk mendeteksi adanya kerusakan fisik, korosi, atau keausan.	
•	P
embersihkan Komponen:	
•	B
ersihkan komponen secara hati-hati untuk menghilangkan kotoran atau residu yang dapat mengganggu operasi.	
c. Penggantian dan Kalibrasi:	
• Ganti komponen yang aus atau rusak dengan komponen baru sesuai spesifikasi pabrikan.	
• Kalibrasi ulang untuk memastikan kesesuaian parameter.	
d.	P
Pengujian dan Verifikasi:	
•	N
yalakan kembali sistem dan uji kinerja untuk memastikan semua komponen berfungsi sesuai spesifikasi.	
e.	D
Dokumentasi:	
•	C
atat semua perbaikan dan penggantian yang dilakukan, termasuk hasil pengujian.	
3.	O
Overhaul:	

Overhaul adalah proses perbaikan menyeluruh yang bertujuan mengembalikan mesin, perangkat, atau sistem ke kondisi optimal, hampir seperti baru. Proses ini mencakup pembongkaran komponen utama, pemeriksaan detail, pembersihan, penggantian komponen yang rusak atau aus, dan perakitan ulang.

Pada siklotron, overhaul dilakukan dalam kondisi tertentu, seperti saat terjadi kerusakan besar yang tidak dapat diatasi melalui perawatan biasa. Contohnya, pada siklotron CS-30 pernah terjadi kebocoran vakum besar sehingga tidak mencapai tingkat operasi yang disyaratkan. Setelah evaluasi penyebab kerusakan tidak membuahkan hasil, dicurigai adanya kerusakan pada O-ring di bawah magnet pole atas dan bawah, yang kemungkinan dipengaruhi oleh usia siklotron.

Setelah prosedur penggantian O-ring dipelajari dan dokumen pendukung tersedia, penggantian O-ring dilakukan. Proses ini diikuti dengan pembersihan menyeluruh semua komponen siklotron untuk memastikan sistem kembali bekerja dengan optimal.

E.

E

valuasi

Beberapa contoh soal terkait perawatan preventif, korektif, dan prediktif pada mesin siklotron:

Soal Pilihan Ganda

1.

A

pa tujuan utama dari perawatan preventif pada siklotron?

- A. Mengembalikan komponen yang rusak ke kondisi semula
- B. Mendeteksi tren penurunan performa menggunakan data real-time
- C. Mencegah kerusakan sebelum terjadi
- D. Memperbaiki kerusakan mendadak pada sistem

2.

K

omponen apa yang biasanya memerlukan inspeksi visual dalam perawatan preventif?

- A. Komponen sub sistem sumber ion, RF, dan transfer berkas
- B. Sensor kontrol performa
- C. Mesin hidrolik pengangkat tangki
- D. Semua jawaban benar

3. L
langkah awal dalam perawatan korektif pada sistem siklotron adalah:
A. Membersihkan sistem vakum dari kontaminasi
B. Mengidentifikasi penyebab kerusakan
C. Melakukan kalibrasi ulang perangkat elektronik
D. Menganalisis data real-time dari sistem kontrol
4. D
alam perawatan prediktif, apa yang digunakan untuk mendeteksi tren penurunan performa?
A. Inspeksi visual
B. Pembersihan rutin
C. Data real-time dari sistem kontrol
D. Reparasi deflektor elektrostatik
5. A
apa tindakan yang dilakukan dalam perawatan prediktif ketika data menunjukkan komponen mulai menurun performanya?
A. Mengisolasi komponen rusak
B. Menggantinya sebelum terjadi kerusakan total
C. Mengunci posisi komponen agar stabil
D. Membersihkannya dengan alkohol atau aseton

Soal Isian Singkat

1. S
ebutkan tiga komponen utama yang diperiksa dalam perawatan preventif pada siklotron.
2. A
apa langkah utama dalam perawatan korektif jika ditemukan foil karbon pada sistem transfer berkas yang rusak?
3. J
elaskan bagaimana sistem sensor digunakan dalam perawatan prediktif pada siklotron!
4. M
engapa pembersihan sistem vakum penting dalam perawatan preventif?

5. S
ebutkan dua tindakan yang dilakukan dalam perawatan prediktif untuk mencegah kerusakan total.

Soal Essay

1. J
elaskan perbedaan antara perawatan preventif, korektif, dan prediktif pada siklotron, serta beri contoh tindakan spesifik untuk masing-masing jenis perawatan!
2. D
iskusikan bagaimana analisis data real-time dalam perawatan prediktif dapat meningkatkan efisiensi operasional siklotron!
3. M
engapa perawatan korektif sering kali memakan waktu lebih lama dibandingkan dengan perawatan preventif? Jelaskan dengan contoh!
4. J
ika terjadi kebocoran pada sistem vakum, apakah perawatan preventif, korektif, atau prediktif yang paling tepat dilakukan? Jelaskan alasannya!
5. B
agaimana inspeksi rutin dalam perawatan preventif dapat membantu mengurangi kebutuhan akan perawatan korektif pada sistem siklotron?

Catatan :

Semua gambar dan tabel dalam materi pokok ini yang tidak mencantumkan sumbernya merupakan milik ITRR DPFK BRIN . Mohon digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

MATERI POKOK 3:

PERAWATAN FASILITAS PENUNJANG SIKLOTRON

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu mempraktikkan jenis perawatan fasilitas penunjang siklotron yang telah ditetapkan

A. Perawatan Fasilitas Penunjang

Fasilitas penunjang Laboratorium proses radioisotop dan radiofarmaka adalah sarana dan peralatan yang digunakan untuk melaksanakan kegiatan proses RI/RF sesuai dengan standar keselamatan radiasi. Fasilitas ini menunjang dalam tahapan proses RI/RF mulai dari proses preparasi, pembuatan radioisotop, hingga formulasi akhir radiofarmaka yang siap didistribusikan ke fasilitas kesehatan/ Rumah sakit.

Sarana penunjang/ Sarpras untuk pelaksanaan kegiatan produksi proses RI/RF mencakup bangunan dan fasilitas pendukung. Sarpras akan mengalami penurunan unjuk kerja, seiring dengan perjalanan waktu (umur) serta kurangnya upaya pemeliharaan dan/atau perawatan yang dilakukan.

Laju penurunan unjuk kerja bergantung pada cara pemakaian dan pemeliharaan yang dilakukan. Pihak pabrikan memberikan pedoman pengoperasian/ pemakaian dan pedoman pemeliharaan dan/atau perawatan terhadap Sarpras untuk menjaga umur dan fungsi sarpras. Dalam pelaksanaan pemeliharaan dan/atau perawatan diperlukan suatu kartu kendali yang dapat digunakan langsung oleh pelaksana untuk mencatat kondisi dan tindakan yang telah dilakukan terhadap sarana dan/atau prasarana. Kartu kendali dapat berupa cek list seperti contoh-contoh dalam pedoman ini. Kartu kendali dibuat sesuai dengan kondisi lingkungan, jenis, beban penggunaan, dan lain-lain.

Pemeliharaan adalah suatu usaha mempertahankan kondisi Sarpras agar tetap memenuhi persyaratan laik fungsi atau dalam usaha mempertahankan keandalan

Sarpras serta menjaga terhadap pengaruh yang merusak.

Perawatan adalah suatu usaha untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi agar Sarpras dapat berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya dan/atau suatu kegiatan mengganti bagian komponen Sarpras agar tetap laik fungsi dalam rangka menambah panjang umur pemakaian dan terjaminnya keselamatan dalam pemanfaatan.

Pemeliharaan dan/atau perawatan mempunyai peran yang sangat penting guna menjaga kehandalan Sarpras untuk mendukung pelaksanaan kegiatan proses RI/ RF. Dalam pelaksanaan pemeliharaan dan/atau perawatan Sarpras masih terdapat beberapa kendala yang dihadapi, umumnya adalah kurangnya perhatian penanggung jawab pemeliharaan dan/atau perawatan, lemahnya perencanaan pemeliharaan dan/atau perawatan, kompetensi pelaksana pemeliharaan dan/atau perawatan, belum tersedianya prosedur/instruksi kerja dan standar teknis yang memadai.

Fasilitas penunjang dalam proses produksi radioisotop dan radiofarmaka mencakup beberapa aspek utama untuk memastikan proses produksi berjalan aman, efisien, dan sesuai standar keselamatan. Fasilitas Penunjang Laboratorium Radioisotop dan Radiofarmaka meliputi:

1. **Hot Cell**

Hot Cell adalah ruang yang dirancang untuk menangani zat radioaktif memiliki dinding dengan kerapatan dan ketebalan tertentu untuk mengungkung zat radioaktif dan dilengkapi dengan manipulator untuk penanganan zat radioaktif dengan aktivitas dan paparan radiasi tinggi. Hot cell dilengkapi dengan alat pengukur tekanan *magnahelik*, dengan tekanan masing-masing hotcel sekitar -80 Pa, untuk menjaga agar tekanan dalam hotcel selalu negative setiap hot cell diberi saluran udara keluar dengan bantuan exhaust Fan.



Gambar 51. Hotcell gd-11 ITRR DPFK BRIN



Gambar 52. Kondisi di dalam Hotcell



Gambar 53. Fasilitas Mini Cell dan Glove Box

a. Sifat Fisik Material Hot cell

Material sebuah hot cell memiliki sifat fisik sebagai berikut:

- 1) Densitas Tinggi: Timbal memiliki densitas sebesar $11,34 \text{ g/cm}^3$, sehingga sangat efektif dalam menyerap energi radiasi gamma.

- 2) **Ketahanan Radiasi:** Timbal dapat menyerap radiasi dengan energi tinggi tanpa mengalami kerusakan struktural.
- 3) **Fleksibilitas:** Timbal mudah dibentuk menjadi pelat atau lapisan, memungkinkan penerapannya pada dinding, pintu, jendela, dan perlengkapan lainnya.
- 4) **Tahan Lama:** Tidak mudah teroksidasi sehingga memiliki umur pakai yang panjang

b. ***Aplikasi Khusus Lapisan Timbal dalam Hot Cell***

- 1) **Dinding Radiasi :** Melindungi operator dan lingkungan luar dari paparan langsung radiasi gamma dan X-ray.
- 2) **Jendela Radiasi (Radiation Shielding Window)**
 - a) Material kaca timbal digabungkan dengan dinding timbal.
 - b) Ketebalan kaca timbal: **5–20 cm**, tergantung intensitas radiasi.
- 3) **Pintu Radiasi (Shielded Door)**
 - a) Pintu dilengkapi pelat timbal yang sama tebalnya dengan dinding.
 - b) Mekanisme seal kedap udara memastikan tidak ada kebocoran radiasi.
- 4) **Penutup dan Pelindung Peralatan (Equipment Shielding)**

Timbal digunakan sebagai pelindung tambahan untuk peralatan di dalam Hot Cell, seperti manipulator atau kontainer bahan radioaktif.

c. ***Spesifikasi Material Timbal***

- 1) **Kemurnian Timbal:** Timbal yang digunakan harus memiliki tingkat kemurnian tinggi ($\geq 99,9\%$) untuk memastikan efisiensi penyerapannya.
- 2) **Paduan Timbal (Lead Alloys):** Untuk meningkatkan kekuatan mekanis, timbal dapat dicampur dengan logam lain, seperti antimon atau kalium, tetapi harus tetap memenuhi standar proteksi radiasi.

d. ***Standar Internasional untuk Penggunaan Timbal***

Penggunaan material timbal dalam Hot Cell harus memenuhi standar keselamatan internasional, seperti:

- 1) **IAEA Safety Standards:** Standar perlindungan dari radiasi ionisasi.
- 2) **ANSI/HPS N43.3:** Pedoman desain untuk fasilitas radiasi.

- 3) **ISO 7195:** Standar untuk kontainmen dan penanganan bahan radioaktif.

e. ***Jenis Perawatan Hot Cell***

1) **Perawatan Preventif (*Preventive Maintenance*)**

Tindakan perawatan yang dilakukan secara rutin untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi, meliputi:

- a) Inspeksi visual terhadap komponen utama dinding/ shielding Hot cell.
- b) Kalibrasi ulang perangkat elektronik alat pengukur tekanan Hot Cell dan Filter
- c) Pengecekan Shiel karet antara pintu hot cell.
- d) Bersihkan Jendela Perisai Radiasi dari debu/ kotoran yang melekat
- e) Pengecekan tekanan pada hot cell.

2) **Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)**

Perbaikan yang dilakukan setelah terdeteksi adanya kerusakan atau penurunan performa, meliputi:

- a) Identifikasi penyebab masalah Keusakan cek secara visual.
- b) Penggantian komponen yang rusak sheal karet, bearing, alat pengukur tekanan dan perangkat Listrik/ elektronik.
- c) Perbaikan Komponen yang rusak/ yang mengalami kegagalan fungsi.

3) **Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)**

Tindakan perawatan berdasarkan analisis kondisi komponen menggunakan data *real-time*, meliputi:

- a) Monitoring tekanan dalam hot cel sebelum Hot cell digunakan .
- b) Analisis data dari sistem kontrol untuk mendeteksi tren penurunan performa.
- c) Penggantian atau perbaikan komponen sebelum terjadi kerusakan total.

4) **Perawatan Darurat (*Emergency Maintenance*)**

Perbaikan yang dilakukan segera setelah terjadi kerusakan mendadak yang mengganggu operasi siklotron, meliputi:

- a) Identifikasi sumber kerusakan.
- b) Hentikan semua pekerjaan yang berhubungan dengan Hotcell
- c) Perbaikan atau penggantian komponen kritis dengan prioritas tinggi.

Perawatan dan pengecekan hot cell atau mini cell dilakukan untuk memastikan sistem tetap beroperasi dengan aman, efisien, dan sesuai standar. Hot cell digunakan dalam industri nuklir, farmasi, atau penelitian, sehingga langkah-langkah perawatannya harus dilakukan dengan sangat hati-hati.

f. ***Langkah-langkah Perawatan Hot Cell***

1) **Pemeriksaan Visual**

- a) Cek integritas struktur: Periksa dinding pelindung (biasanya terbuat dari timbal, beton, atau baja) untuk memastikan tidak ada retak, korosi, atau kerusakan fisik.
- b) Pemeriksaan jendela proteksi (*viewing window*): Pastikan lapisan kaca atau akrilik pelindung dalam kondisi baik, tanpa goresan atau pecah.
- c) Pemeriksaan pintu akses: Periksa pintu untuk memastikan segel (seal) kedap radiasi atau kontaminasi masih berfungsi.
- d) Cek kondisi sistem ventilasi: Pastikan filter HEPA atau filter karbon aktif bersih dan berfungsi dengan baik.

2) **Pemeriksaan Sistem Kendali**

- a) Sistem mekanis:
 - Periksa manipulators (lengan robotik) atau alat mekanis lainnya untuk memastikan pergerakannya lancar.
 - Lumasi komponen bergerak sesuai jadwal pemeliharaan.

- 3) **Sistem kelistrikan:** Uji koneksi kabel, saklar, dan sistem kontrol otomatis untuk memastikan semua bekerja dengan baik.

- 4) **Instrumentasi dan sensor:** Periksa sensor tekanan, suhu, atau radiasi, dan kalibrasi ulang jika diperlukan.

5) **Sistem Ventilasi dan Pengamanan Radiasi**

- a) Pengujian tekanan negatif: Pastikan ruang hot cell tetap dalam tekanan negatif untuk mencegah kebocoran udara kontaminan keluar.
- b) Pembersihan filter udara: Ganti atau bersihkan filter HEPA secara rutin sesuai jadwal.
- c) Pengujian detektor radiasi: Periksa detektor radiasi untuk memastikan kemampuan mendeteksi tingkat radiasi dengan akurat.
- d) Cek kebocoran radiasi: Gunakan alat *survey meter* untuk memeriksa apakah

ada kebocoran radiasi dari hot cell.

6) Sistem Pengolahan Limbah

- a) Pemeriksaan wadah limbah: Pastikan semua wadah limbah radioaktif atau kimia dalam kondisi aman tanpa kebocoran.
- b) Sistem transportasi limbah: Periksa mekanisme pengangkutan limbah dari hot cell ke tempat penyimpanan limbah untuk memastikan keamanan.
- c) Pembersihan area limbah: Bersihkan residu atau material kontaminasi secara terkontrol, menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai.

7) Sistem Komunikasi dan Keamanan

- a) Cek kamera dan monitor: Periksa kamera pengawas dan monitor yang digunakan untuk mengamati aktivitas di dalam hot cell.
- b) Sistem alarm: Uji alarm darurat untuk kebocoran radiasi, kebakaran, atau kondisi abnormal lainnya.
- c) Dokumentasi dan catatan: Pastikan semua inspeksi dan hasil pengukuran dicatat dengan baik untuk referensi dan audit.

8) Pembersihan dan Dekontaminasi

- a) Dekontaminasi permukaan dalam: Bersihkan permukaan dalam hot cell menggunakan cairan dekontaminasi khusus, jika terdapat kontaminasi material.
- b) Pembersihan alat: Alat atau perlengkapan yang digunakan dalam hot cell harus dibersihkan atau disterilisasi secara berkala.
- c) Pengecekan kebersihan: Gunakan alat survey kontaminasi untuk memastikan area bebas dari material berbahaya.

9) Pelaporan dan Perbaikan

- a) Laporan inspeksi: Catat hasil pemeriksaan, termasuk kerusakan atau bagian yang memerlukan perbaikan.
- b) Perbaikan segera: Segera lakukan perbaikan pada komponen yang tidak berfungsi atau tidak sesuai standar.
- c) Evaluasi berkala: Lakukan evaluasi rutin berdasarkan pedoman standar keselamatan nasional atau internasional.

10) Tindakan Pencegahan dan Keselamatan

- a) Gunakan Alat Pelindung Diri (APD) seperti sarung tangan, masker, dan pakaian pelindung selama proses perawatan.
- b) Pastikan semua pekerjaan dilakukan oleh teknisi yang berpengalaman dan

bersertifikat untuk menangani sistem dengan risiko tinggi.

c) Ikuti prosedur keselamatan kerja yang ketat sesuai dengan regulasi yang berlaku.

11) **Frekuensi Perawatan**

a) Harian: Pemeriksaan visual dan fungsi dasar.

b) Bulanan: Pengecekan filter, kalibrasi alat pengukur, dan penggantian komponen kecil.

c) Tahunan: Evaluasi menyeluruh, pengujian tekanan, penggantian filter dan perbaikan struktural.

Langkah-langkah ini memastikan hot cell atau mini cell tetap aman, efisien, dan mematuhi standar keselamatan radiasi atau bahan berbahaya lainnya.



Gambar 54. Hotcell gd 13 ITRR-DPFK-BRIN



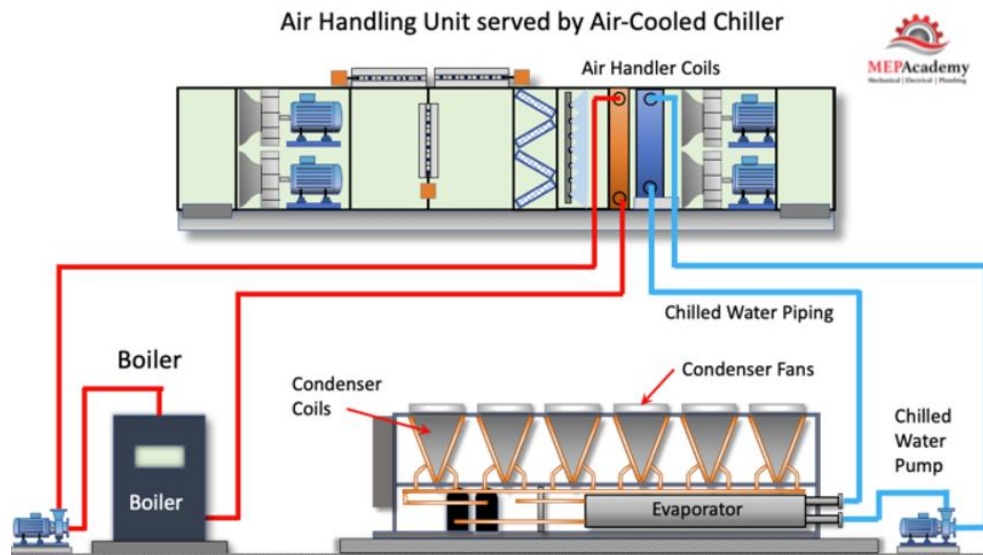
Gambar 55. Interface Transfer Cask

Kegunaan masing-masing hot cell sebagaimana diuraikan dibawah ini:

1. *Hotcell* no. 1 : berfungsi sebagai *entry cell* digunakan untuk memasukkan peralatan atau bahan-bahan yang diperlukan pada kegiatan proses radioisotop atau pekerjaan baik berupa peralatan maupun bahan-bahan pendukung untuk pelaksanaan kegiatan di *hotcell*
- 2 *Hotcell* no. 2 : digunakan untuk memasukkan bahan target yang sudah diiradiasi di reaktor G.A. Siwabessy ke dalam fasilitas *hotcell* LRR. *Hotcell* ini dilengkapi dengan fasilitas penghubung antara *hotcell* dengan transfer cask (kontainer untuk mengangkut target paska iradiasi dari reaktor G.A. Siwabessy ke LRR. Selain itu, *hotcell*-2 ini dilengkapi peralatan untuk membuka dan memotong bahan target paska iradiasi.
3. *Hotcell* no. 3 digunakan untuk melakukan proses pelarutan radioisotop. *Hotcell* ini dilengkapi *magnetic stirrer* untuk proses pelarutan radioisotop serta dilengkapi kolom untuk memisahkan Mo-99 dengan Tc-99m
4. *Hotcell* no. 4 : berfungsi sebagai ruangan untuk melakukan kegiatan proses produksi dan penelitian yang terkait dengan proses kering , misalnya : destilasi kering radioisotop I-131.
5. *Hotcell* no. 5 : berfungsi sebagai ruangan untuk melakukan kegiatan proses produksi dan penelitian yang terkait dengan sumber tertutup misalnya: pembuatan Ir-192 aktivitas tinggi untuk brakiterapi
- 6 *Hotcell* no. 6 : berfungsi sebagai ruangan untuk mengeluarkan produk dari hasil proses yang dilakukan di hotcell 3, 4 dan 5.

B. Sistem Tata Udara/ HVAC

Sistem Tata Udara atau yang lebih sering dikenal dengan HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) adalah suatu sistem yang mengatur kondisi udara di dalam bangunan dengan mengontrol faktor-faktor termal seperti suhu dan kelembaban relatif, serta memastikan kesegaran dan kebersihan udara sehingga menciptakan lingkungan ruangan yang aman dan nyaman.



Gambar 56. Sistem Tata Udara

1. Tujuan Sistem HVAC

- Menjaga kualitas udara: Memastikan udara bersih dari bahan kimia berbahaya, partikel, dan zat lain yang dapat membahayakan kesehatan.
- Mengendalikan parameter lingkungan: Termasuk suhu, tekanan, dan kelembaban sesuai dengan standar laboratorium.
- Mendukung keselamatan: Mencegah akumulasi gas beracun atau mudah terbakar, serta memastikan ventilasi yang memadai.

2. Fungsi Utama

- Pengendalian Kontaminasi: Mencegah penyebaran bahan kimia berbahaya ke lingkungan laboratorium dan sekitarnya.
- Keselamatan Pengguna: Melindungi pekerja laboratorium dari paparan langsung gas, uap, atau bahan kimia berbahaya.
- Perlindungan Alat: Menjaga kondisi lingkungan agar tidak merusak

peralatan sensitif akibat perubahan suhu, kelembapan, atau korosi.

d. Kenyamanan: Memberikan lingkungan kerja yang nyaman dengan sirkulasi udara yang baik.

3. **Komponen Utama Sistem Tata Udara :**

a. **Chiller**

Chiller adalah perangkat utama dalam sistem tata udara yang digunakan untuk mendinginkan air atau cairan pendingin (refrigerant) yang kemudian didistribusikan melalui sistem pendingin udara (HVAC). Fungsi utamanya meliputi:

1) **Mendinginkan Air untuk Pendinginan Udara,**

Chiller mendinginkan air hingga suhu tertentu. Air dingin ini dipompa ke Air Handling Unit (AHU) atau Fan Coil Unit (FCU) untuk mendinginkan udara di dalam ruangan melalui pertukaran panas.

2) **Mengontrol Suhu Lingkungan**

Dengan menggunakan cairan pendingin, chiller membantu menjaga suhu ruangan tetap stabil, terutama di gedung perkantoran, rumah sakit, hotel, atau pabrik.

3) **Efisiensi Energi**

Dalam sistem berskala besar, seperti gedung bertingkat, chiller lebih efisien dibandingkan sistem pendinginan udara berbasis langsung (direct expansion/AC split).

4) **Pendinginan Proses Industri**

Selain untuk kenyamanan udara, chiller juga digunakan untuk mendinginkan proses-proses industri yang memerlukan suhu tertentu, seperti di manufaktur makanan, farmasi, atau fasilitas data center.

Kapasitas chiller biasanya dinyatakan dalam beberapa satuan, tergantung pada kebiasaan pengguna: Ton Refrigerasi (TR) 1 TR setara dengan kemampuan mendinginkan 12.000 BTU/jam.



Gambar 57. Chiller

b. AHU (Air Handling Unit)

Komponen penting dalam sistem tata udara (HVAC) yang bertugas mengolah, mendistribusikan, dan mengatur kualitas udara di dalam suatu ruangan atau bangunan. AHU biasanya digunakan di gedung-gedung besar seperti kantor, rumah sakit, pusat perbelanjaan, atau hotel. Berikut adalah fungsi utama AHU:

1) Mengolah Udara

AHU menerima udara dari luar atau dalam ruangan, lalu mengolahnya agar memenuhi standar kenyamanan atau kebutuhan proses tertentu.

2) Penyaringan Udara (Air Filtration)

AHU dilengkapi dengan filter udara untuk menyaring partikel debu, kotoran, alergen, dan polutan lain dari udara sebelum didistribusikan ke ruangan.

3) Distribusi Udara

AHU mendistribusikan udara yang telah diolah melalui ducting ke berbagai area dalam bangunan. Ini memastikan udara sejuk, segar, dan bersih mencapai setiap sudut ruangan.

4) Mengatur Sirkulasi Udara

AHU menjaga keseimbangan antara udara segar (outdoor air) dan udara resirkulasi dari dalam ruangan untuk memastikan tingkat oksigen yang optimal.

5) Pengontrol Kualitas Udara dalam Ruangan

AHU membantu mengatur:

a) Suhu udara: Sesuai dengan kebutuhan.

- b) Kelembapan: Untuk kenyamanan penghuni atau kebutuhan khusus (misalnya laboratorium).
- c) Kebersihan udara: Dengan mengurangi polusi dan kontaminasi.

4. **Komponen Utama AHU**

Untuk menjalankan fungsinya, AHU terdiri dari beberapa bagian utama:

- a. *Cooling Coil/ Heating Coil* untuk proses pendinginan atau pemanasan udara.
- b. *Blower/ Fan* untuk mengalirkan udara ke dalam sistem ducting.
- c. *Damper* untuk mengatur aliran udara segar atau resirkulasi.
- d. *Humidifier/ Dehumidifier* untuk mengontrol kelembapan udara.



Gambar 58. AHU

e. **Filter Udara**

Filter udara adalah komponen penting dalam sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) yang bertugas menyaring partikel kotoran dari udara sebelum udara tersebut didistribusikan ke ruangan.

Fungsi utama filter udara adalah menjaga kualitas udara dalam ruangan (IAQ, Indoor Air Quality) serta melindungi komponen HVAC lainnya dari kerusakan akibat debu atau partikel berbahaya.

Berikut adalah uraian fungsi filter udara pada sistem HVAC:

- 1) Menyaring Partikel Debu dan Kotoran

Filter udara menangkap partikel debu, Ini mencegah partikel tersebut menyebar ke dalam ruangan, sehingga udara yang dihirup penghuni lebih bersih dan sehat.

- 2) Meningkatkan Kualitas Udara dalam Ruangan (IAQ)

Udara yang lebih bersih menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan aman.

3) Melindungi Komponen HVAC

Filter udara mencegah kotoran dan partikel halus masuk ke komponen internal sistem HVAC, seperti coil pendingin (*evaporator*) dan *blower*. Ini membantu mengurangi penumpukan debu yang dapat menurunkan efisiensi sistem dan memperpanjang masa pakai perangkat.

4) Mengoptimalkan Kinerja Sistem HVAC

Dengan mencegah hambatan udara akibat akumulasi kotoran, filter udara memastikan aliran udara tetap lancar hal ini membantu sistem HVAC bekerja lebih efisien, sehingga menghemat energi dan menurunkan biaya operasional.

5) Mengurangi Risiko Kerusakan Sistem

Debu dan kotoran yang tidak tersaring dapat menyebabkan komponen HVAC cepat aus atau bahkan rusak.

6) Mengontrol Bau

Beberapa jenis filter, seperti filter karbon aktif, dapat menyerap bau tak sedap dan gas berbahaya, meningkatkan kenyamanan udara dalam ruangan.

Filter udara adalah salah satu elemen kecil namun sangat penting untuk menjaga efisiensi, kenyamanan, dan kualitas udara pada sistem HVAC. Filter udara perlu dibersihkan atau diganti secara rutin/ berkala sesuai jenisnya (misalnya, setiap 1-6 bulan), tergantung pada penggunaan dan tingkat polusi udara. Filter yang kotor dapat menurunkan efisiensi sistem HVAC dan meningkatkan konsumsi energi, sehingga penting untuk memeriksa secara teratur.



Gambar 59. Tipe Filter

f. **Ducting**

Ducting berfungsi sebagai saluran distribusi udara bersih ke area produksi.



Gambar 60. Ducting

g. **Exhaust Fan**

Exhaust fan berfungsi untuk mengeluarkan udara kotor dari ruangan.

Blower merupakan bagian dari AHU yang berfungsi untuk menggerakkan udara disepanjang sistem distribusi udara yang terhubung dengannya. Blower yang digunakan dalam AHU merupakan blower radial yang memiliki kisi-kisi penggerak udara yang terhubung dengan motor penggerak.



Gambar 61. Exhaust Fan

h. **Parameter Kritis**

Dalam sistem HVAC, terdapat beberapa parameter yang perlu dipantau dan dikendalikan untuk memastikan kinerja optimal, kenyamanan, serta efisiensi energi.

Berikut adalah parameter kritis yang biasa digunakan:

1) **Temperatur (Temperature)**

Mengatur suhu udara agar sesuai dengan kebutuhan pengguna dan standar kenyamanan.

- a) Ruang Kantor dan Komersial: 22°C - 26°C.
- b) Ruang Server/Data Center: 18°C - 24°C.

- c) **Industri Khusus** (misalnya farmasi): Disesuaikan dengan standar tertentu, seperti GMP.

Pentingnya Pemantauan:

Suhu yang terlalu rendah atau tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan atau merusak peralatan sensitif.

2) **Kelembapan Relatif (Relative Humidity, RH)**

- a) **Fungsi:** Mengontrol tingkat kelembapan udara untuk kenyamanan dan mencegah pertumbuhan jamur atau kerusakan barang.

b) **Kisaran Umum:**

- **Ruang Umum (seperti kantor dan rumah):** 40% - 60%.
- **Ruang Server/Data Center:** 30% - 50%.
- **Industri Farmasi dan Laboratorium:** 45% - 55% (sesuai standar GMP).

c) **Efek Kelembapan Tidak Tepat:**

- **Terlalu Rendah:** Udara kering, meningkatkan risiko iritasi kulit dan pernapasan.
- **Terlalu Tinggi:** Pertumbuhan jamur, korosi pada perangkat, dan penurunan efisiensi sistem HVAC.

3) **Laju Aliran Udara (Airflow Rate)**

- a) **Fungsi:** Menjamin sirkulasi udara yang cukup untuk kenyamanan dan ventilasi.

b) **Satuan:** CFM (**Cubic Feet per Minute**) atau L/s (**Liter per detik**).

c) **Standar:**

- **Ruang Kantor:** 10-15 CFM/orang (menurut ASHRAE).
- **Ruang Operasi Rumah Sakit:** Sangat tinggi untuk menjamin sterilitas (mencapai 300-600 CFM).

- d) **Pentingnya Pemantauan:** Aliran udara yang kurang dapat menyebabkan ventilasi buruk, sedangkan aliran terlalu tinggi dapat menyebabkan kebisingan atau ketidaknyamanan.

4) **Kualitas Udara dalam Ruangan (Indoor Air Quality/ IAQ)**

- a) **Fungsi:** Mengontrol kandungan polutan, seperti debu, alergen, dan gas

berbahaya.

b) **Parameter Pemantauan:**

- **Partikulat (PM_{2.5} dan PM₁₀):** Standar WHO menyarankan <15 µg/m³ untuk PM_{2.5}.
 - **Karbon Dioksida (CO₂):** Di bawah 1000 ppm untuk kenyamanan.
 - **Volatile Organic Compounds (VOC):** <0,5 mg/m³.
- c) **Dampak Buruk Jika Tidak Dikontrol:**
- Kesehatan penghuni terganggu (alergi, sesak napas).
 - Menurunkan produktivitas di ruang kerja.

5) **Tekanan Udara (*Air Pressure*)**

a) **Fungsi:** Memastikan udara mengalir dengan benar antara area yang berbeda.

b) **Jenis Tekanan:**

- **Tekanan Positif:** Udara didorong keluar, mencegah masuknya udara terkontaminasi (misalnya di ruang operasi).
- **Tekanan Negatif:** Udara ditarik masuk, mencegah kontaminasi menyebar (misalnya di ruang isolasi).

c) **Unit:** Pascal (Pa).

d) **Standar:**

- Tekanan ruang operasi: 2.5 - 10 Pa (lebih tinggi dari koridor).
- Tekanan ruang isolasi: -2.5 Pa (lebih rendah dari koridor).

6) **Pertukaran Udara (*Air Exchange Rate*)**

a) **Fungsi:** Mengganti udara dalam ruangan dengan udara segar secara berkala.

b) **Satuan:** ACH (*Air Changes per Hour*).

c) **Standar:**

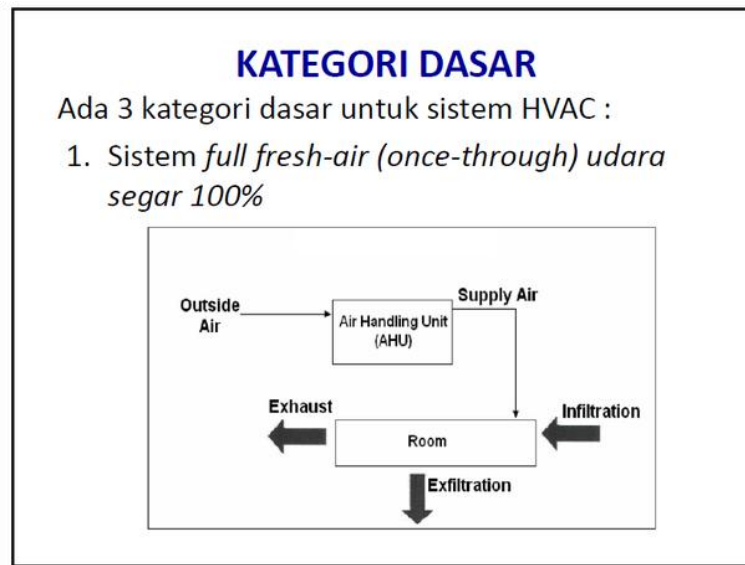
- **Ruang Kantor:** 4-6 ACH.
- **Ruang Operasi:** 20-25 ACH.

5. **Tipe-tipe Dasar Desain HVAC**

Ada 3 kategori dasar untuk Sistem Tata Udara:

a. **Sistem udara segar 100% (sekali lewat)/ full fresh air (once-through)**

Sistem ini menyuplai udara luar yang sudah diolah hingga memenuhi persyaratan kondisi suatu ruang, kemudian diekstrak dan dibuang ke atmosfer. Sistem ini biasanya digunakan pada fasilitas yang menangani produk/ pelarut beracun untuk mencegah udara tercemar disirkulasikan kembali.



Gambar 62. Sistem full fresh-air

b. **Sistem resirkulasi**

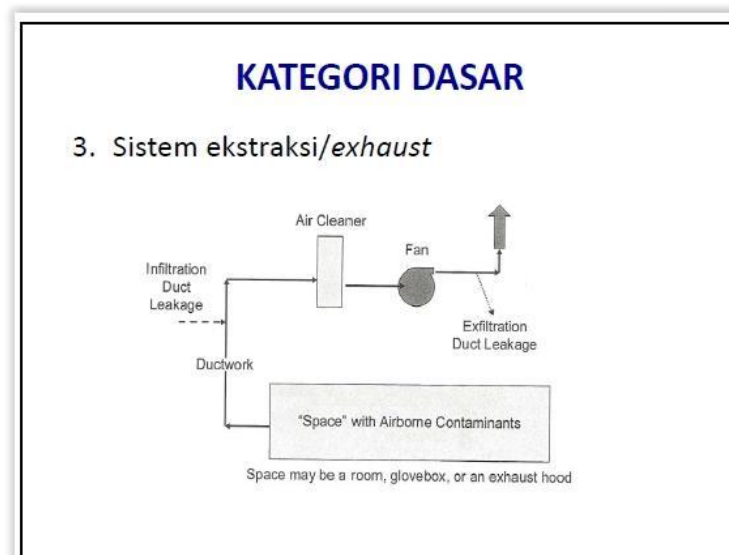
Resirkulasi harus tidak menyebabkan risiko kontaminasi atau kontaminasi silang (termasuk uap dan bahan yang mudah menguap). Kemungkinan penggunaan udara resirkulasi ini dapat diterima, bergantung pada jenis kontaminan udara pada sistem udara balik. Hal ini dapat diterima bila filter HEPA dipasang pada aliran udara pasokan (atau aliran udara balik) untuk menghilangkan kontaminan sehingga mencegah kontaminasi silang.



Gambar 63. Sistem Resirkulasi

c. **Sistem ekstraksi/ exhaust**

Bila dimungkinkan, debu atau cemaran uap hendaklah dihilangkan dari sumbernya. Titik tempat ekstraksi hendaklah sedekat mungkin dengan sumber keluarnya debu. Dapat digunakan ventilasi setempat atau tudung penangkap debu yang sesuai. Contoh aplikasi sistem adalah



Gambar 64. Sistem Ekstraksi/Exhaust

6. **Perawatan Sistem HVAC**

Untuk memastikan sistem HVAC beroperasi dengan baik dan efisien, perlu dilakukan perawatan secara berkala. Perawatan ini bisa mencakup pembersihan dan pengecekan komponen, penggantian filter udara, dan pengecekan sistem refrigeran.

Pemeliharaan yang baik juga bisa memperpanjang umur sistem HVAC dan menghindari biaya perbaikan yang mahal.

a)

J

enis Perawatan Sistem Tata Udara

1) Perawatan Preventif (*Preventive Maintenance*)

Dilakukan secara terjadwal untuk mencegah kerusakan, menjaga efisiensi, dan memperpanjang umur sistem HVAC. Contoh tindakannya sebagai berikut:

- Pembersihan filter udara: Membersihkan atau mengganti filter udara secara berkala untuk menjaga aliran udara yang optimal.
- Pemeriksaan saluran udara: Memastikan ducting bebas dari kebocoran, kotoran, atau hambatan.
- Pemeriksaan kelistrikan: Memeriksa koneksi kabel, relay, dan kapasitor untuk memastikan tidak ada kerusakan.
- Pelumasan komponen bergerak: Melumasi bantalan kipas, motor, atau kompresor untuk mengurangi gesekan.
- Kalibrasi termostat: Memastikan termostat bekerja dengan akurat sesuai pengaturan suhu.

2)

P

erawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Perbaikan yang dilakukan setelah terdeteksi adanya kerusakan atau penurunan performa, perawatan korektif dilakukan setelah kerusakan atau penurunan fungsi untuk mengembalikan sistem ke kondisi optimal.

Contoh tindakan:

- Penggantian komponen rusak: Mengganti motor kipas, kompresor, atau katup ekspansi yang tidak berfungsi.
- Perbaikan kebocoran refrigeran: Menemukan dan menutup kebocoran, kemudian mengisi ulang refrigeran.
- Pemulihan fungsi sensor: Memperbaiki atau mengganti sensor suhu atau kelembapan yang tidak bekerja dengan baik.

- Perbaikan ducting: Menutup kebocoran atau memperbaiki isolasi saluran udara yang rusak.

3)

P

Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Memanfaatkan data dan teknologi untuk memantau kondisi sistem HVAC secara real-time dan memprediksi potensi kerusakan.

Contoh tindakan:

- Analisis getaran kompresor: Menggunakan sensor untuk memantau getaran dan mendeteksi potensi kerusakan pada bantalan atau rotor.
- Pengukuran tekanan dan suhu refrigeran: Menganalisis anomali yang bisa mengindikasikan kerusakan pada sistem refrigerasi.
- Termografi pada komponen listrik: Menggunakan kamera inframerah untuk mendeteksi panas berlebih pada kabel, relay, atau motor.
- Monitoring efisiensi energi: Memantau penggunaan daya untuk mendeteksi penurunan performa sistem.

4)

P

Perawatan Darurat (*Emergency Maintenance*)

Perbaikan yang dilakukan segera setelah terjadi kerusakan mendadak agar sistem HVAC dapat segera berfungsi kembali.

Contoh tindakan:

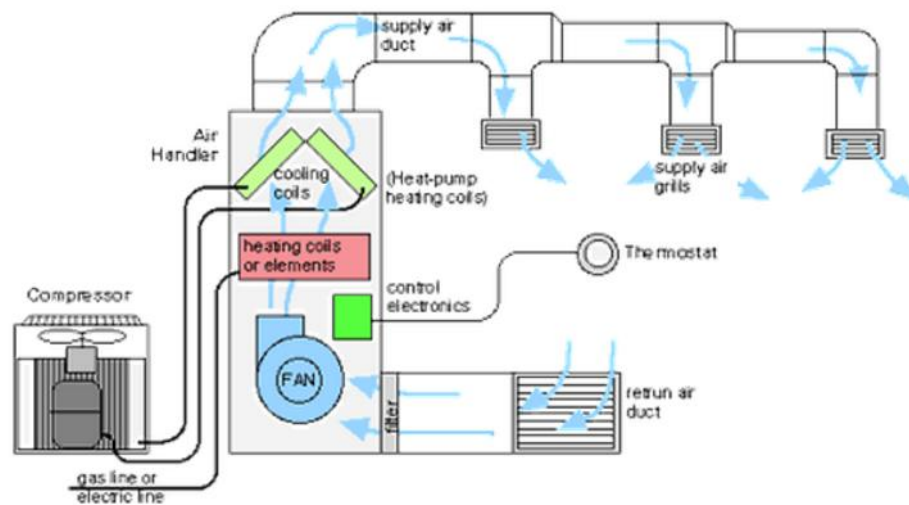
- **Penggantian komponen darurat:** Mengganti belt kipas yang putus atau kabel listrik yang terbakar dengan segera.
- **Penanganan kerusakan kompresor:** Melakukan bypass sementara atau mengganti kompresor yang gagal berfungsi.
- **Pemulihan kebocoran besar refrigeran:** Menutup kebocoran secara cepat untuk mencegah hilangnya fungsi pendinginan.
- **Perbaikan kontrol sistem:** Memperbaiki atau mengganti termostat atau panel kontrol yang mengalami kerusakan mendadak

C. Sistem Tata Udara *Cleanroom*

Cleanroom industri farmasi adalah ruangan khusus yang dirancang untuk meminimalkan kontaminasi partikel, menjaga kebersihan udara, suhu, kelembapan,

dan tekanan sesuai standar tertentu.

Cleanroom ini digunakan untuk produksi obat, bahan farmasi aktif (*Active Pharmaceutical Ingredients/ API*), atau produk medis yang memerlukan lingkungan yang sangat bersih untuk memastikan keamanan dan kualitas produk. Panduan kebersihan ruang pembuatan obat diatur dalam Pedoman Pembuatan Obat yang Baik (CPOB) 2012 dikeluarkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dan diperjelas dengan Petunjuk Operasional Pedoman Cara Pembuatan Obat yang Baik POP CPOB



sumber: www.link-labs.com

Gambar 65. Sistem Tata Udara Cleanroom

1. Ciri Utama *Cleanroom* di Industri Farmasi

a. **Pengendalian Partikel**

Cleanroom meminimalkan partikel debu, mikroorganisme, atau kontaminan lain melalui kontrol ketat terhadap sumber partikel, termasuk manusia, peralatan, dan proses produksi.

b. **Kebersihan Udara**

Udara dalam *cleanroom* disaring menggunakan *High-Efficiency Particulate Air* (HEPA) atau *Ultra Low Penetration Air* (ULPA) untuk menghilangkan partikel hingga ukuran mikroskopis.

c. **Kontrol Parameter Lingkungan**

- 1) **Suhu:** Biasanya dijaga antara 18-25°C, tergantung pada produk dan proses.
- 2) **Kelembapan:** Dikontrol untuk menghindari kerusakan produk, biasanya antara 40-60%.
- 3) **Tekanan udara:** Sistem tekanan positif digunakan untuk mencegah masuknya kontaminasi dari luar.

d. **Klasifikasi Cleanroom**

Cleanroom diklasifikasikan berdasarkan tingkat kebersihan udara, yang diukur dalam jumlah partikel per meter kubik udara. Standar yang umum digunakan:

- 1) **ISO 14644:** Misalnya, ISO Class 5, Class 7, dll.
- 2) **EU-GMP:** Grade A (terbersih) hingga Grade D.

e. **Desain Ruangan**

- 1) Permukaan mudah dibersihkan: Dinding, lantai, dan langit-langit biasanya terbuat dari material yang tidak berpori, anti-statis, dan tahan bahan kimia.
- 2) Sistem ventilasi terkontrol: Udara masuk melalui sistem filtrasi berlapis, sementara udara kotor dikeluarkan.

2. **Fungsi Cleanroom dalam Industri Farmasi**

a. **Mencegah Kontaminasi Produk**

Mengurangi risiko kontaminasi mikroba, partikel, atau bahan asing yang dapat memengaruhi keamanan dan kualitas produk farmasi.

b. **Mendukung Proses Steril**

Proses seperti pengisian produk steril atau formulasi obat memerlukan lingkungan bebas partikel dan mikroorganisme.

c. **Mematuhi Regulasi**

Cleanroom diperlukan untuk memenuhi standar internasional seperti *Good Manufacturing Practice* (GMP) dan memastikan produk memenuhi persyaratan keamanan dan efektivitas.

d. **Meningkatkan Keamanan Pasien**

Produk yang diproduksi di cleanroom lebih terjamin kualitas dan kemurniannya, sehingga lebih aman untuk digunakan pasien.

3. **Standar yang Digunakan**

- a. **ISO 14644-1:** Standar internasional untuk klasifikasi kebersihan udara

berdasarkan jumlah partikel.

- b. **EU-GMP Annex 1:** Pedoman untuk produksi obat steril.
- c. **US FDA cGMP:** Panduan yang mengatur proses manufaktur farmasi di Amerika Serikat.

4. **Tata Letak *Cleanroom* Industri Farmasi**

Cleanroom biasanya dirancang dengan area berbeda berdasarkan tingkat kebersihan. Area ini disusun untuk memastikan alur kerja yang efisien dan meminimalkan risiko kontaminasi silang. Komponen utama *cleanroom* yakni :

a. **Gowning Area (Ruang Ganti)**

- 1) Tempat pekerja mengenakan pakaian khusus (*coverall*, sarung tangan, masker, dan pelindung kepala).
- 2) Memisahkan area "bersih" dari area "kotor".

b. **Airlock**

- 1) Ruang transisi dengan sistem tekanan udara terkontrol, biasanya berada di antara dua area dengan klasifikasi kebersihan berbeda.
- 2) Dilengkapi pintu otomatis atau interlock yang mencegah pintu terbuka bersamaan.

c. **Core Area**

- 1) Area inti tempat proses produksi dilakukan, seperti pengisian obat steril, formulasi bahan aktif, atau pengemasan.

d. **Pass Box**

Alat untuk memindahkan material masuk dan keluar tanpa membuka pintu utama, sehingga mengurangi risiko kontaminasi.

e. **Sistem HVAC**

Mengalirkan udara bersih melalui **HEPA filter**, mengatur suhu, tekanan, dan kelembaban.

5. **Diagram Tata Letak Sederhana *Cleanroom***

Berikut adalah gambaran alur tata letak *cleanroom*:

Area Non-Bersih → Gowning Area → Airlock → Core *Cleanroom* (Grade A/B)

a. **Area Non-Bersih:**

Digunakan untuk aktivitas umum seperti penyimpanan material awal.

b. **Gowning Area:**

Didesain untuk memastikan pekerja masuk dalam keadaan bersih dan steril.

c. **Airlock:**

Mencegah udara dari area non-bersih masuk ke cleanroom.

d. **Core Cleanroom:**

Area dengan klasifikasi kebersihan tertinggi, misalnya Grade A/B untuk pengisian steril.

6. **Klasifikasi Cleanroom**

Cleanroom diklasifikasikan berdasarkan jumlah partikel di udara. Standar yang umum digunakan adalah **ISO 14644-1** dan **EU-GMP Annex 1**.

a. **Klasifikasi Berdasarkan ISO 14644-1**

Tabel 21. Klasifikasi berdasarkan ISO 14644-1

ISO Class	Jumlah Maksimal Partikel per m ³	Aplikasi
ISO Class 5	$\leq 3.520 (\geq 0,5 \mu\text{m})$	Pengisian steril, injeksi.
ISO Class 7	$\leq 352.000 (\geq 0,5 \mu\text{m})$	Formulasi bahan aktif.
ISO Class 8	$\leq 3.520.000 (\geq 0,5 \mu\text{m})$	Gowning area.

b. **Klasifikasi Berdasarkan EU-GMP Annex 1**

Tabel 22. Klasifikasi berdasarkan EU-GMP

Grade	Lingkungan Operasi	Contoh
Grade A	Area steril, aliran udara laminar.	Pengisian aseptik.
Grade B	Latar belakang untuk Grade A.	Proses sterilisasi bahan.
Grade C	Proses non-steril, tingkat kebersihan sedang.	Pembuatan bahan aktif.
Grade D	Pekerjaan awal atau pra-steril.	Penyiapan bahan baku.

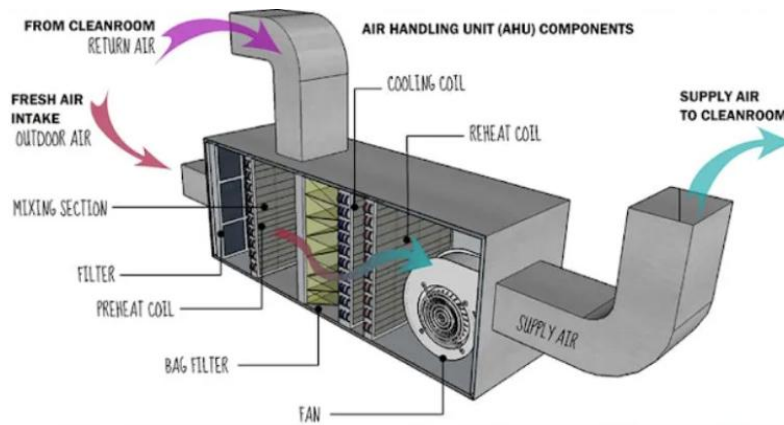
7. **Sistem HVAC dalam Cleanroom**

a. **Komponen Sistem HVAC**

- 1) **AHU (Air Handling Unit):** Mengontrol aliran udara bersih dan parameter lingkungan (suhu, kelembapan).
- 2) **HEPA/ULPA Filter:** Menghilangkan partikel hingga 99,99% (ukuran 0,3 mikron).
- 3) **Exhaust Fan:** Mengeluarkan udara kotor dari ruang produksi.
- 4) **Ducting:** Saluran untuk distribusi udara bersih ke seluruh cleanroom.

b. **Prinsip Kerja HVAC**

- 1) Udara masuk melalui pre-filter → AHU → HEPA filter → R Lab → Udara Kotor Keluar
- 2) Udara bersih dialirkan ke ruangan dengan tekanan positif untuk mencegah masuknya kontaminasi dari luar.



Gambar 66. AHU Cleanroom

c. Perawatan Sistem HVAC

Untuk memastikan sistem HVAC beroperasi dengan baik dan efisien, perlu dilakukan perawatan secara berkala. Perawatan ini bisa mencakup pembersihan dan pengecekan komponen, penggantian filter udara, dan pengecekan sistem refrigeran.

Pemeliharaan yang baik juga bisa memperpanjang umur sistem HVAC dan menghindari biaya perbaikan yang mahal. Pemeliharaan rutin adalah esensial untuk memastikan sistem HVAC beroperasi dengan efisiensi maksimal. Kegiatan pemeliharaan ini tidak hanya memperpanjang umur sistem tetapi juga mengurangi risiko kerusakan yang dapat menyebabkan biaya perbaikan yang mahal.

Untuk memastikan sistem HVAC beroperasi dengan baik dan efisien, perlu dilakukan perawatan secara berkala. Perawatan ini bisa mencakup pembersihan dan pengecekan komponen, penggantian filter udara, dan pengecekan sistem refrigeran. Pemeliharaan yang baik juga bisa memperpanjang umur sistem HVAC dan menghindari biaya perbaikan yang mahal. Jenis perawatan HVAC yakni sebagai berikut :

1)

P

erawatan Preventif (Preventive Maintenance)

Dilakukan secara terjadwal untuk mencegah kerusakan, menjaga efisiensi, dan memperpanjang umur sistem HVAC.

Contoh tindakan:

a) Pembersihan filter udara: Membersihkan atau mengganti filter udara secara berkala untuk menjaga aliran udara yang optimal.

- b) Pemeriksaan saluran udara: Memastikan ducting bebas dari kebocoran, kotoran, atau hambatan.
- c) Pemeriksaan kelistrikan: Memeriksa koneksi kabel, relay, dan kapasitor untuk memastikan tidak ada kerusakan.
- d) Pelumasan komponen bergerak: Melumasi bantalan kipas, motor, atau kompresor untuk mengurangi gesekan.
- e) Kalibrasi termostat: Memastikan termostat bekerja dengan akurat sesuai pengaturan suhu.

2)

P

Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Perbaikan yang dilakukan setelah terdeteksi adanya kerusakan atau penurunan performa. Dilakukan setelah kerusakan atau penurunan fungsi untuk mengembalikan sistem ke kondisi optimal.

Contoh tindakan:

- a) Penggantian komponen rusak: Mengganti motor kipas, kompresor, atau katup ekspansi yang tidak berfungsi.
- b) Perbaikan kebocoran refrigeran: Menemukan dan menutup kebocoran, kemudian mengisi ulang refrigeran.
- c) Pemulihan fungsi sensor: Memperbaiki atau mengganti sensor suhu atau kelembapan yang tidak bekerja dengan baik.
- d) Perbaikan ducting: Menutup kebocoran atau memperbaiki isolasi saluran udara yang rusak.

3)

P

Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Memanfaatkan data dan teknologi untuk memantau kondisi sistem HVAC secara *real-time* dan memprediksi potensi kerusakan.

Contoh tindakan:

- a) Analisis getaran kompresor: Menggunakan sensor untuk memantau getaran dan mendeteksi potensi kerusakan pada bantalan atau rotor.
- b) Pengukuran tekanan dan suhu refrigeran: Menganalisis anomali yang bisa mengindikasikan kerusakan pada sistem refrigerasi.
- c) Termografi pada komponen listrik: Menggunakan kamera inframerah untuk mendeteksi panas berlebih pada kabel, relay, atau motor.

- d) Monitoring efisiensi energi: Memantau penggunaan daya untuk mendeteksi penurunan performa sistem.

4)

P

Perawatan Darurat (*Emergency Maintenance*)

Perbaikan yang dilakukan segera setelah terjadi kerusakan mendadak agar sistem HVAC dapat segera berfungsi kembali.

Contoh tindakan:

- a) Penggantian komponen darurat: Mengganti belt kipas yang putus atau kabel listrik yang terbakar dengan segera.
- b) Penanganan kerusakan kompresor: Melakukan bypass sementara atau mengganti kompresor yang gagal berfungsi.
- c) Pemulihan kebocoran besar refrigeran: Menutup kebocoran secara cepat untuk mencegah hilangnya fungsi pendinginan.
- d) Perbaikan kontrol sistem: Memperbaiki atau mengganti termostat atau panel kontrol yang mengalami kerusakan mendadak

D. Rangkuman

Material timbal adalah komponen penting dalam desain dinding Hot Cell karena efektivitasnya dalam menyerap radiasi gamma. Dengan ketebalan yang disesuaikan dan pengaplikasian yang tepat, lapisan timbal memberikan perlindungan optimal bagi operator dan lingkungan dari paparan radiasi, mendukung operasi yang aman dalam fasilitas pengelolaan bahan radioaktif.

Pentingnya Tindakan Terpadu perawatan:

- **Preventif** menjaga sistem tetap optimal dan mencegah biaya perbaikan besar.
- **Korektif** bertujuan mengembalikan fungsi setelah kerusakan.
- **Prediktif** meminimalkan risiko kerusakan dengan perencanaan yang lebih baik.
- **Darurat** berfungsi untuk menangani situasi kritis secara cepat, memastikan kenyamanan pengguna tetap terjaga.

Pendekatan yang terintegrasi pada keempat jenis perawatan ini akan meningkatkan

efisiensi, mengurangi downtime, dan memperpanjang umur sistem HVAC.

tingkat radioaktivitas.

VV. Mengubur limbah langsung di fasilitas penyimpanan akhir.

5. Inspeksi Sistem Mekanis

Apa yang harus diperiksa untuk memastikan manipulators dalam hot cell berfungsi dengan baik?

VV. Sistem kelistrikan dan mekanisme gerakannya.

XXXXX. Kondisi filter udara yang terhubung ke hot cell.

DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD. Tingkat radioaktivitas material yang ditangani.

LLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLL. Efisiensi energi hot cell secara keseluruhan.

Catatan :

Seluruh gambar dan tabel dalam materi pokok ini yang tidak mencantumkan sumbernya merupakan milik ITRR DPFK BRIN. Mohon digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

MATERI POKOK 4:

PRAKTIKUM PERAWATAN KOMPONEN SIKLOTRON

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu mempraktikkan perawatan komponen siklotron sesuai prosedur yang telah ditetapkan.

A. Praktikum Perawatan Sumber Ion

Sumber Ion merupakan salah satu komponen utama di dalam siklotron yang berfungsi menghasilkan partikel bermuatan yang akan dipercepat di dalam sistem pemercepat. Jika sumber ion mengalami penurunan kinerja maka dapat mempengaruhi volume atau kuantitas partikel yang dipercepat sehingga arus berkas yang dihasilkan siklotron akan mengalami penurunan bahkan di kondisi yang terburuk arus berkas tidak keluar sehingga kegiatan iradiasi tidak dapat dilakukan. Agar kinerja ion source dapat dijaga dari waktu ke waktu maka perlu dilakukan perawatan baik yang preventif maupun korektif.

1. Rincian Kegiatan Praktikum

Praktikum perawatan ion source secara umum terdiri dari :

- a. *Persiapan praktikum*
- b. *Pembongkaran Sumber Ion*
- c. *Identifikasi Komponen Sumber Ion*
- d. *Penggantian Komponen Sumber Ion*
- e. *Pemasangan Kembali Komponen Sumber Ion*

2. Tujuan Praktikum

Tujuan kegiatan praktikum ini adalah setelah mengikuti pelatihan peserta diharapkan dapat :

- a. *Menginventarisasi peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk perawatan sumber ion*
- b. *Melakukan pembongkaran dan pemasangan sumber ion dan komponen di dalamnya*

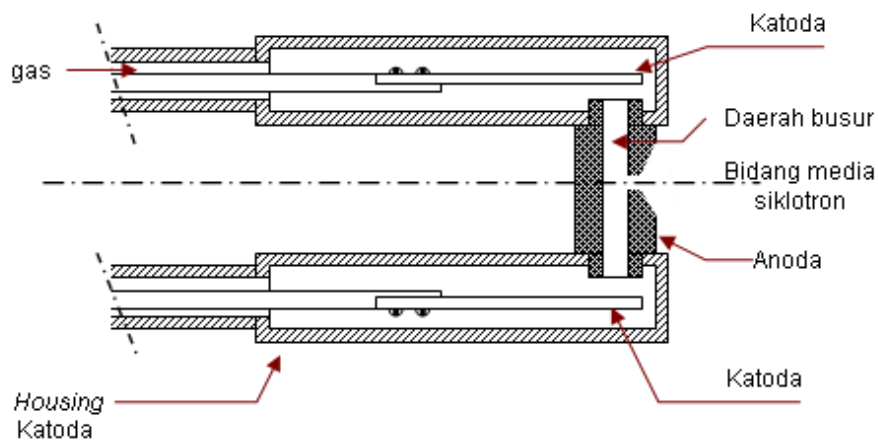
- c. *Mengidentifikasi kondisi komponen sumber ion*
- d. *Melakukan penggantian komponen yang telah mengalami kerusakan atau penurunan kinerja*

3. **Teori**

Sistem sumber ion adalah suatu sistem yang digunakan untuk menghasilkan ion dari unsur tertentu untuk kemudian digerakkan dan dipercepat di dalam siklotron. Pada umumnya didalam sistem siklotron, seperti halnya untuk siklotron CS-30 sumber ion yang digunakan tersusun dari sumber ion tipe Penning Ion Gauge (PIG), catu daya, perangkat pengatur gas, dan kontrol sumber ion. Sumber ion tipe PIG ini menggunakan prinsip osilasi elektron yang diusulkan oleh F.M. Penning dan pertama kali dikerjakan di Philips Laboratory Ionization Gauge Tube pada tahun 1937. Sumber ion yang bekerja berdasarkan prinsip osilasi ini sering disebut sebagai sumber ion PIG, dengan prinsip sebagai berikut :

Ion diproduksi melalui penembakan elektron pada molekul gas, dengan yield ion tergantung dari jenis gas yang digunakan, rapat gas (atau tekanan gas), kelimpahan elektron dan potensial ionsasinya.

Komponen utama sumber ion disusun seperti pada Gambar 1. Dua katoda tantalum (Ta) ditempatkan pada jarak dan posisi yang ekuivalen di bagian atas dan bawah bidang media siklotron. Katoda ini ditempatkan terisolasi terhadap housing anoda dan katoda, anoda ditempatkan secara paralel dengan arah medan magnet, dan housing anoda dan katoda berada pada potensial ground. Gas untuk sumber ion dialirkan melewati tangkai sumber ion menuju daerah arc (busur listrik) yang berada di ruang berbentuk silinder yang berada di dalam anoda. Bila tegangan negatif dicatukan pada katoda, maka akan terjadi pelepasan elektron dari permukaan masing-masing katoda yang kemudian ditarik (dipercepat) ke arah ground. Elektron tersebut sepanjang lintasannya akan menumbuk molekul-molekul gas sehingga menyebabkan pelepasan elektron orbital atom dan menghasilkan ion positif gas. Pada kondisi ini yield ion positif gas masih sangat rendah.



Gambar 67. Skema Bagian Depan Sumber Ion Tipe PIG

Bila sumber ion dioperasikan di dalam medan magnet, elektron tersebut akan bergerak spiral pada radius yang kecil dan bergerak dipercepat ke arah ground melintasi arc column. Elektron tersebut dalam geraknya dapat mendekati katoda yang lain, namun akan ditolak kembali sehingga berubah arah dan melintasi arc column kembali. Demikian seterusnya, hingga dalam kondisi ini terjadi osilasi naik-turun yang terus menerus sampai elektron mempunyai energi yang cukup untuk dapat mengionisasi atom gas, sehingga menghasilkan ion positif. Tumbukan dengan atom gas tersebut menurunkan energi elektron yang bersilasi sampai energi kinetik elektron tidak mampu lagi mengionisasi atom gas, kemudian elektron yang hanya tinggal mempunyai energi rendah tersebut akan bergerak ke dinding anoda atau housing menjadi arus elektron pada rangkaian eksternal.

Ion positif yang dihasilkan dipercepat ke arah katoda dan akan menumbuk katoda sehingga menghasilkan elektron sekunder. Elektron sekunder ini dipercepat ke arah anoda dan akan menghasilkan lebih banyak ion. Pada kondisi yang ini, kesetimbangan yang stabil antara produksi ion dan elektron akan tercapai.

Bila tegangan antara katoda dan ground dinaikkan, maka energi ion akan meningkat pula, yang menyebabkan katoda akan menjadi cukup panas hingga mencapai temperatur thermionic dan akan memancarkan elektron dalam jumlah yang besar sehingga arus akan meningkat secara dramatis. Dalam kondisi seperti ini sumber ion dikatakan beroperasi pada mode thermionic (thermionic mode). Emisi elektron thermal ini menurut Richardson – Dushman dapat dinyatakan sebagai :

$$J_{th} = \eta AT^4 \exp(-\phi / kT) = A_e T^2 \exp(-\phi / kT) \quad (1-1)$$

dengan :

A adalah tetapan Richardson = 120 [A/cm². K²] dan $A_e = \eta A$

η adalah transparency (0 ~ 1)

ϕ adalah fungsi kerja (*work function*) (eV)

T adalah suhu (temperatur) katoda (K)

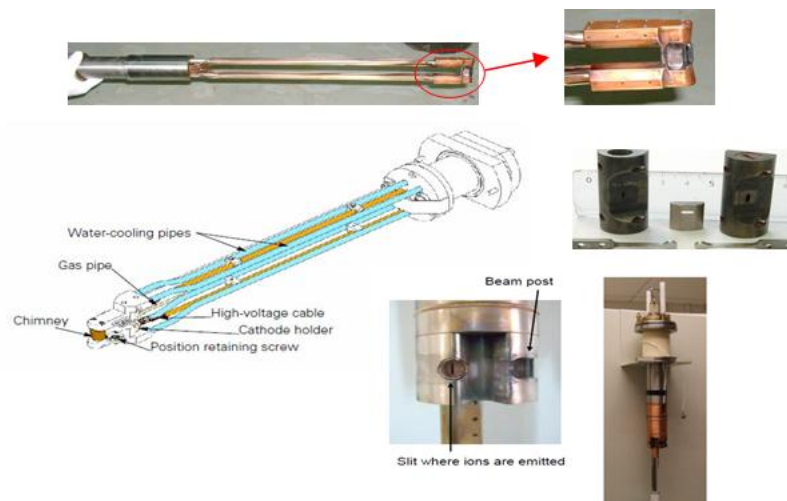
k adalah tetapan Boltzmann = 8,62 . 10⁻⁵ (eV/K)

Untuk filamen atau katoda yang terbuat dari tungsten, rapat arus emisi maksimum adalah :

$$J_{th} = 6,8 \text{ A/cm}^2 \text{ dengan } \phi = 4,5 \text{ eV, } A_e = 70 \text{ dan } T_{maks} = 2860 \text{ K.}$$

Selama sumber ion beroperasi pada thermionic mode, arus elektron pada rangkaian eksternal dapat meningkat sampai 100 kali lipat, yang menyebabkan drop tegangan pada arc column. Penurunan tegangan pada arc column ini diikuti dengan naiknya arus, dan kemudian dicapai kesetabilan operasi.

Konstruksi sumber ion tipe PIG yang digunakan dalam sistem siklotron ini bermacam-macam tergantung dari pembuat siklotron dan tipe itu sendiri. Pada Gambar 2 ditunjukkan beberapa sumber ion tipe PIG yang digunakan di beberapa siklotron.



Gambar 68. Sumber Ion Tipe PIG yang Digunakan di Beberapa Siklotron

A. Sumber ion pada Siklotron CS-30, CTI.

B. Sumber ion pada Siklotron Cyclon 18, IBA

C. Sumber ion pada Siklotron Eclipse 11. Siemens.

4. Peralatan dan Bahan

Alat dan Bahan yang perlu disiapkan adalah :

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| a. <i>Screwdriver</i> | b. <i>Alkohol</i> |
| c. <i>L wrench</i> | d. <i>Kain majun</i> |
| e. <i>Kunci Pas</i> | f. <i>Tisu</i> |
| g. <i>Kunci ring</i> | h. <i>Kuas/sikat gigi</i> |
| i. <i>Amplas halus</i> | j. <i>APD</i> |

5. Langkah Kerja

F. **Pembongkaran Sumber Ion**

- 1) Melepas Sumber Ion dari Dudukannya
 - a) Lepas Kabel Power supply
 - b) Lepas Selang Pendingin
 - c) Lepas kabel Motor Penggerak Posisi
 - d) Lepas Saluran Gas
 - e) Lepas Baut Pemegang Ion Source
 - f) Lepas Ion Source dari dudukannya
 - g)

pada Meja Kerja



Gambar 69. Dudukan Sumber Ion pada Tangki Siklotron

- 2) Langkah Pembongkaran
 - a) Lepas 3 Baut pemegang Gir Sumber Ion
 - b) Lepas Gir dari Dudukannya



Gambar 70. Posisi Baut Pemegang Gir Penggerak Sumber Ion

- c) Lepas 1 buah baut Pengunci Batang Sumber Ion



- d) Buka Ring Pengunci Batang Sumber Ion
- e) Lepas empat baut Pengunci Batang Sumber Ion

Gambar 71. Posisi Baut Pemegang Batang Sumber Ion

- f) Lepas Baut Kepala Sumber Ion
- g) Lepas Baut Pemegang Katoda
- h) Lepas baut Pemegang Anoda



Gambar 72. Kepala Sumber Ion

- i) Lepas batang pemegang katoda dari rumahnya



Gambar 73. Batang Pemegang Katode Setelah Dilepas dari Selongsong Sumber Ion

- j) Lepas Selang Pendingin Katoda
- k) Lepas Kabel Power Supply
- l) Lepas 2 buah Baut Plastik
- m) Pemegang Batang Katoda
- n) Dengan hati hati Tarik Keluar Pemegang Batang Katoda
- o) Secara perlahan Lepas isolator keramik batang katoda
- p) Bersihkan semua komponen dan letakkan pada tempat yang bersih



Gambar 74. Dudukan Batang Pemegang Katode dan Sambungan Pendingin

G. **Identifikasi Komponen Sumber Ion**

1. Ukur Dimensi Katoda



Katoda : P = mm T = Mm
L = mm d Baut = mm

Gambar 75. Katode Sumber Ion

2. Ukur Dimensi Anoda



Anoda : DI =mm Dd = mm
P = mm

Gambar 76. Anode Sumber Ion

3. Ukur Dimensi semua O-Ring



O-Ring1 : Do :..... mm Di =mm
O-Ring2 : Do :..... mm Di =mm

Gambar 77. O-ring Seal gland

4. Ukur Dimensi Seal gland



Do = Mm DI = Mm
Do O-ring =mm DI O-ring =
Mm
T = mm

Gambar 78. Seal Gland

5. Ukur Dimensi batang Keramik

Isolator Batang katoda

P = mm
Do = mm
DI = mm



Gambar 79. Isolator Batang Keramik Pemegang Katode

H. **Perakitan Komponen Sumber Ion**

Langkah Perakitan

1. Letakkan Komponen sumber Ion pada Meja Praktikum

2. Masukkan seal gland dan keramik isolator ke pemegang batang katoda

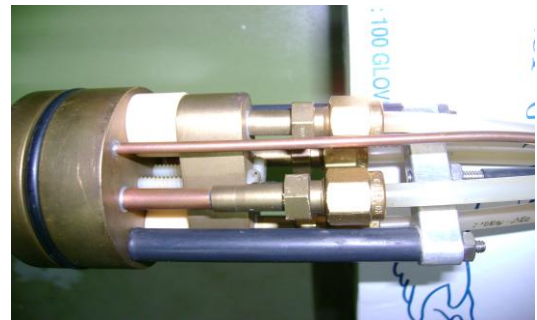
Gambar SEQ Gambar * ARABIC 80. Seal Gland dan Isolator Keramik Batang Pemegang Katode

3. Pasang dan Kencangkan secara terukur Baut Plastik pemegang batang Katoda

4. Pasang baut Penguat Batang katoda

5. Pasang Selang saluran Pendingin

6. Pasang Kabel Power



Gambar Pemasangan Seal gland dan

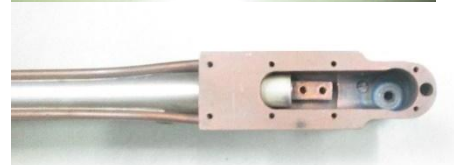
Gambar 81. Pemasangan Seal Gland dan Isolator Batang Pemegang Katode

7. Pasang Anoda

8. Pasang katoda

9. Check hubungan ke Bodi

10. Pasang O-Ring Pemegang Batang katoda



Gambar SEQ Gambar * ARABIC 82. Tempat Pemasangan Katode dan

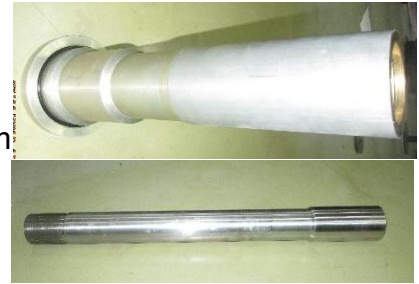
Gambar tempat pemasangan katode dan Anode sumber ion

11. Masukkan batang penggerak ke bodi Sumber Ion

12. Masukkan batang Pemegang katoda ke dalam batang penggerak

13. Pasang O- Ring dalam dan O-Ring Luar

Gambar



Gambar SEQ Gambar * ARABIC 83. Bodi dan Batang

14. Pasang Komponen Penggerak in Out

15. Pasang Klem Penggerak In Out

Gambar SEQ Gambar * ARABIC 84. Komponen dan Penggerak Sumber Ion

Gambar

16. Pasang baut Pengunci Batang

Sumber Ion

17. Pasang Clip Ring

18. Pasang Gear Drive

19. Kencangkan Pengunci Drive

Gear

20.

21. Pasang Saluran Pendingin

Gambar SEQ Gambar * ARABIC 85. Clip, Gear, dan Saluran Gas dan Air Pendingin

22. Pasang Sumber Ion pada Tangki Siklotron

23. Selesai

24. Test Kinerja Sumber Ion



B. **Praktikum Monitoring Kesiapan Fasilitas Siklotron CS-30**

Siklotron dapat beroperasi dengan baik jika semua parameter operasinya memenuhi persyaratan operasi. Dalam rangka mewujudkan parameter operasi yang memenuhi persyaratan operasi siklotron maka diperlukan komponen atau sub sistem penunjang seperti sistem target, sistem pendingin air, chiller dan HVAC. Untuk memastikan bahwa kinerja komponen atau sub sistem pendukung tersebut berfungsi dengan baik maka perlu dilakukan monitoring rutin.

1. **Rincian Kegiatan Praktikum**

Praktikum monitoring kesiapan fasilitas siklotron terdiri dari :

- a. Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruang
- b. Monitoring Parameter Operasi Sistem Pendingin CS-3
- c. Monitoring Persiapan Operasi Sistem Target Padat Siklotron CS-30

2. **Tujuan pembelajaran**

Tujuan kegiatan praktikum ini adalah setelah mengikuti pelatihan peserta diharapkan dapat :

- a. Menyebutkan parameter kesiapan fasilitas siklotron
- b. Menjelaskan nilai rentang parameter operasi fasilitas siklotron

3. **Peralatan dan Bahan**

Alat yang perlu disiapkan adalah :

- a. Alat Tulis
- b. Formulir Monitoring Suhu dan Kelembaban
- c. Formulir Monitoring Kinerja Sistem Pendingin
- d. Formulir Monitoring Persiapan Operasi Sistem Target Padat Siklotron CS-30

4. **Langkah Kerja**

- a. Siapkan alat tulis
- b. Lihat dan catat penunjukkan Thermohygrometer di ruangan Ruang Kontrol, Cave Siklotron dan Power Supply

Tabel 23. Formulir Temperatur dan Kelembapan

Tabel 29. Formulir Temperatur dan Kelembapan								
Tanggal	Jam	Ruang Kontrol Siklotron		Ruang Cave Siklotron		Ruang Power Supply		Paraf
		Suhu	RH	Suhu	RH	Suhu	RH	
		(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(%)	

c. Lihat dan Catat penunjukkan tekanan pompa besar, pompa kecil, suhu inlet siklotron, suhu outlet siklotron, resistivity, pH, dan level air di kolom yang tersedia di formulir. Pada kolom keterangan silakan isikan apakah ada nilai yang tidak memenuhi persyaratan. Tuliskan juga hari dan tanggal pelaksanaan monitoring serta bubuhkan paraf

Tabel 24. Formulir Kondisi Sub Sistem Pendingin

Hari/ Tanggal	Tekanan pompa besar (80-120 Psig)	Tekanan pompa kecil (15-25 Psig)	Suhu Inlet Siklotron (55-70 °F)	Suhu Outlet Siklotron (°F)	Resiti vity (>1M Ω)	PH (7)	Leve l Air (≥75 cm)	Keter angan	Par af

d. Periksa status parameter yang ada di formulir Monitoring Persiapan Operasi Sistem Target Padat Siklotron CS-30

e. Tuliskan hasil pemeriksaan pada kolom status dengan isian "OK" jika kondisinya memenuhi persyaratan atau "NOK" jika kondisinya tidak memenuhi persyaratan. Jika ada informasi tambahan yang ingin di catat, silakan tuliskan pada kolom keterangan

f. Tuliskan juga tanggal pelaksanaan dan nama pelaksana pada kolom yang disediakan

Tabel 25. Formulir Monitoring Kesiapan Fasilitas Siklotron CS-30

No.	Parameter	Syarat Kondisi	Status	Keterangan
1.	Sumber catu daya	220VAC tersedia		
2.	Sistem Pendingin:			

	• Pompa besar • Suhu Air Inlet	berfungsi < 64 ° F
3.	Sistem udara bertekanan	7-8 Bar
4.	Kran udara dan air pendingin	terbuka
5.	Batas setting point meter vakum	
	a. TC Gauge:	
	• Batas tertinggi • Batas terendah	±200 mTorr 50 s/d 100 mTorr
	b. CC Gauge:	
	• Batas tertinggi • Batas terendah	1×10^{-2} Torr 2×10^{-5} Torr s/d 5×10^{-5} Torr
6.	Lampu indikator stasiun penerima	berfungsi
7.	Rabbit :	
	- Semua bagian	telah terpasang dengan baik
	- O-ring pada target	masih bagus
	- Spring Clips	masih bagus
8.	Brake	respon saklar tekan pada brake control normal
9.	Kevakuman beam line	2×10^{-5} Torr s/d 5×10^{-5} Torr

C. **Praktikum Identifikasi Komponen**

Siklotron dapat beroperasi dengan baik jika semua komponen dalam kondisi baik. Guna mewujudkan kondisi tersebut maka perlu dilakukan identifikasi kondisi komponen agar dapat menentukan tindakan yang tepat apakah komponen tersebut perlu dilakukan perbaikan atau penggantian.

1. **Rincian Kegiatan Praktikum**

Pada praktikum ini, kegiatan identifikasi komponen terdiri dari sistem

- Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruangan
- Monitoring Parameter Operasi Sistem Pendingin CS-30
- Monitoring Persiapan Operasi Sistem Target Padat Siklotron CS-30

2. **Tujuan pembelajaran**

Tujuan kegiatan praktikum ini adalah setelah mengikuti pelatihan peserta diharapkan dapat :

- Mengidentifikasi dan mendokumentasi kondisi komponen siklotron
- Menentukan tindakan hasil identifikasi

3. **Peralatan dan Bahan**

Alat yang perlu disiapkan adalah :

- a. Alat Tulis
- b. Alat Ukur

4. **Langkah Kerja**

- a. Tulis daftar komponen yang akan diidentifikasi
- b. Tentukan alat ukur apa yang diperlukan untuk identifikasi setiap komponen
- c. Tentukan kriteria keberterimaan hasil identifikasi
- d. Lakukan inspeksi kemudian tulis hasil identifikasi untuk masing-masing komponen yang telah diidentifikasi

D. **Rangkuman**

Ada tiga praktikum dalam melakukan perawatan komponen siklotron yang dapat dipraktikkan sesuai dengan kebutuhan dan keadaan, diantaranya yakni :

- 1. Praktikum Perawatan Sumber Ion
- 2. Praktikum Monitoring Kesiapan Fasilitas Siklotron CS-30
- 3. Praktikum Identifikasi Komponen

C. **Evaluasi**

1. **Praktikum Perawatan Sumber Ion**

- a. Apa Fungsi O-ring Bagian dalam dan O-Ring Bagian Luar pada Komponen ini?



Gambar 87. Rumah Sumber Ion

- b. Komponen apa saja yang termasuk komponen kritis Sistem sumber Ion?
- c. Jenis Maintenance apa yang harus dilakukan pada komponen yang termasuk dalam kategori komponen kritis?
- d. Sebutkan penyebab kerusakan pada komponen kritis?
- e. Sebutkan tujuan dilakukannya kegiatan maintenance?

4. **Praktikum Monitoring Kesiapan Fasilitas Siklotron CS-30**
 - a. Silakan buat kesimpulan untuk hasil monitoring masing-masing sub sistem!
5. **Praktikum Identifikasi Komponen**
 - a. Buatlah tabel atau formulir identifikasi komponen pada salah satu Sub Sistem Siklotron!

Catatan :

Seluruh gambar dan tabel dalam materi pokok ini yang tidak mencantumkan sumbernya merupakan milik ITRR DPFK BRIN . Mohon digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

MATERI POKOK 5:

PRAKTIKUM FASILITAS PENUNJANG SIKLOTRON

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu mempraktikkan perawatan fasilitas penunjang siklotron sesuai prosedur yang telah ditetapkan.

A. **Praktikum Perawatan Fasilitas Penunjang: Monitoring suhu dan Rh, Perawatan komponen HVAC (Pengecekan komponen CWP dan kondisi chiller)**

Sistem Tata Udara adalah fasilitas penunjang laboratorium yang berfungsi untuk mengkondisikan ruangan meliputi pengendalian suhu, kelembaban dan arah alir udara, ini merupakan persyaratan yang harus dipenuhi karena, HVAC tidak hanya untuk memberikan kenyamanan dalam ruangan kerja namun berfungsi juga untuk menjaga peralatan agar bekerja optimal serta untuk keselamatan personil yang ada di dalamnya. Berdasarkan fungsi dan resiko yang ditimbulkan, sistem HVAC difasilitas nuklir dibagi dalam beberapa zona/ daerah kerja. Pembagian ini berkaitan dengan wilayah kerja yang mempunyai tingkat resiko kontaminasi yang berbeda-beda. Sistem HVAC tidak boleh berhenti beroperasi saat kegiatan penelitian berlangsung, hal ini bertujuan untuk melindungi pekerja dari bahaya kontaminasi. Sistem VAC meliputi Chiller, Air Handling Unit, Filter dan Exhaust Fan

1. **Tujuan Praktikum**

- a. *Mengetahui kondisi/ status dari peralatan/ sistem penunjang proses radioisotop dan radiofarmaka sebelum proses dilaksanakan.*
- b. *Melaksanakan pemantauan Sistem VAC meliputi Chiller, Air Handling Unit, Filter dan Exhaust Fan*
- c. *Mampu melaksanakan perawatan dan perbaikan Fasilitas penunjang sistem HVAC*

2. **Alat dan Bahan**

- a. *Flow Meter*
- b. *Pengukur Tekanan*
- c. *Pengukur Temperatur*
- d. *Multi Tester*
- e. *Test Pen*
- f. *Multimeter.*
- g. *Clamp meter.*
- h. *Kapasitansi meter.*
- i. *Insulation tester (megger).*

3. **Cara Kerja**

- a. *Pastikan Sistem VAC beroperasi normal*
- b. *Amati parameter peralatan Sistem VAC*
- c. *Baca/ ukur Tekanan/ arah alir udara dalam Ruag kerja Gedung dan buat table sesuai Langkah-langkah perawatan, catat dalam Form*

4. **Perawatan dan Pengecekan Chiller**

Langkah-langkah:

- a. ***Pemeriksaan visual:***
 - Periksa adanya kebocoran refrigeran pada pipa atau komponen lainnya.
 - Pastikan tidak ada kotoran atau kerusakan fisik pada unit.
- b. ***Pemeriksaan kelistrikan:***
 - Periksa tegangan dan arus pada kompresor, kipas, dan motor.
 - Pastikan semua koneksi kabel dalam kondisi baik dan terminal tidak longgar.
- c. ***Pengukuran tekanan refrigeran:***
 - Gunakan alat pengukur tekanan untuk memastikan tekanan kondensor dan evaporator berada dalam batas normal.
- d. ***Pembersihan kondensor dan evaporator:***
 - Bersihkan sirip kondensor dari debu menggunakan blower atau sikat khusus.
 - Jika diperlukan, gunakan cairan pembersih untuk menghilangkan kerak.

e. **Pemeriksaan oli kompresor:**

- Periksa level oli dan kondisi oli pada kompresor (jika applicable).

f. **Uji performa:**

- Nyalakan chiller dan pantau suhu air dingin untuk memastikan kinerjanya sesuai spesifikasi.

5. **Perawatan dan Pengecekan Sistem AHU**

Langkah-langkah:

a. **Pemeriksaan Filter Udara:**

- Lepaskan filter udara dan bersihkan dengan vakum atau air (jika washable).
- Ganti filter jika sudah terlalu kotor atau rusak.

b. **Pemeriksaan Kipas dan Motor:**

- Periksa bantalan kipas untuk memastikan tidak ada suara berisik atau getaran berlebih.

- Pastikan motor bekerja dengan baik tanpa overheating.

c. **Pemeriksaan Coil Evaporator:**

- Bersihkan coil evaporator menggunakan sikat lembut atau cairan pembersih khusus untuk menghilangkan kotoran dan debu.

d. **Periksa Aliran Udara:**

- Pastikan ducting tidak terhalang dan semua damper bekerja dengan baik.

e. **Kalibrasi Termostat Dan Sensor:**

- Uji akurasi termostat dan pastikan sensor suhu dan kelembapan bekerja dengan benar.

f. **Pemeriksaan Drain Line:**

- Pastikan saluran pembuangan kondensasi tidak tersumbat dan air mengalir lancar.

6. **Perawatan dan Pengecekan Pompa Chiller**

Langkah-langkah:

a. **Pemeriksaan Fisik:**

- Periksa kebocoran pada pipa, segel pompa, atau housing pompa.
- Pastikan pompa terpasang dengan baik tanpa getaran yang berlebihan.

b. **Pemeriksaan Kelistrikan:**

- Periksa kabel daya, sambungan, dan tegangan motor.
- c. **Pelumasan:**
 - Lumasi bantalan pompa (jika pompa menggunakan bearing yang memerlukan pelumasan).
- d. **Uji Performa:**
 - Nyalakan pompa dan pantau tekanan serta aliran untuk memastikan bekerja sesuai spesifikasi.
- e. **Pemeriksaan Impeller:**
 - Jika diperlukan, buka pompa untuk memeriksa kondisi impeller, pastikan tidak ada kotoran atau keausan.
- f. **Periksa Katup:**
 - Pastikan semua katup (valve) bekerja dengan baik dan tidak bocor.

7. Perawatan dan Pengecekan Exhaust Fan

Langkah-langkah:

- a. **Pemeriksaan Fisik:**
 - Periksa bilah kipas untuk memastikan tidak ada kerusakan atau penumpukan debu.
 - Pastikan housing kipas tidak terdapat kotoran atau keretakan.
- b. **Pembersihan:**
 - Bersihkan bilah kipas dan gril menggunakan kain lembab atau air sabun.
 - Pastikan lubang ventilasi tidak tersumbat.
- c. **Pemeriksaan Motor dan Kelistrikan:**
 - Periksa kabel daya, sambungan, dan kapasitor motor untuk memastikan kelistrikan aman.
 - Dengarkan suara motor untuk mendeteksi adanya getaran atau suara abnormal.
- d. **Pemeriksaan Bantalan:**
 - Pastikan bantalan kipas tidak aus dan berputar dengan lancar.
 - Tambahkan pelumas pada bantalan jika diperlukan.
- e. **Uji Operasional:**
 - Nyalakan exhaust fan dan pastikan aliran udara optimal.
 - Periksa apakah kipas berputar dengan kecepatan normal tanpa suara

berisik.

f. **Pengecekan Sistem Kontrol:**

- Pastikan saklar atau sistem otomatis bekerja dengan baik sesuai pengaturan.

B. **Rangkuman**

1. Pembersihan rutin adalah langkah awal yang harus diambil untuk menjaga kinerja sistem HVAC. Beberapa bagian yang perlu dibersihkan secara berkala meliputi:
 2. Filter: Filter udara adalah komponen yang paling sering perlu dibersihkan atau diganti. Filter ini membantu menyaring debu, serbuk, dan partikel lain dari udara sebelum udara tersebut masuk ke sistem HVAC. Jika filter tersumbat oleh kotoran, kinerja sistem akan terganggu dan aliran udara menjadi terhambat.
 3. Kipas: Membersihkan kipas dan baling-baling kipas adalah langkah penting. Kipas yang bersih akan berputar dengan lancar, membantu dalam sirkulasi udara yang efisien.
 4. Bagian-bagian Lain: Selain itu, perlu juga membersihkan bagian-bagian lain seperti evaporator coils, condenser coils, dan unit outdoor. Kotoran yang menumpuk pada permukaan ini dapat menghalangi transfer panas dan dingin, sehingga mengurangi efisiensi sistem.

C. **Evaluasi**

1. **Kasus 1 - Masalah Mekanik**

Sebuah pompa pada sistem chiller HVAC mengalami getaran berlebihan saat dioperasikan. Setelah inspeksi visual, ditemukan adanya suara tidak normal dan kebocoran cairan di sekitar area pompa.

Soal

- a. Sebutkan kemungkinan penyebab kerusakan mekanik tersebut.
- b. Jelaskan langkah-langkah perbaikan untuk mengatasi masalah tersebut.
- c. Sebutkan peralatan yang dibutuhkan untuk perbaikan.

2. **Kasus 2 - Masalah Listrik**

Pompa tidak dapat menyala meskipun sudah diberikan daya listrik. Setelah pemeriksaan awal, ditemukan bahwa salah satu komponen motor listrik pada pompa mengalami overheating.

Soal

- a. Sebutkan kemungkinan penyebab masalah listrik tersebut.
- b. Jelaskan langkah-langkah pemeriksaan dan perbaikan untuk masalah listrik pada motor pompa.
- c. Sebutkan alat ukur yang diperlukan untuk diagnosis.

3. Kasus 3 - Pengukuran Temperatur dan Kelembaban Relatif (RH)

Sebuah laboratorium memerlukan kondisi lingkungan dengan temperatur $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dan RH $50\% \pm 5\%$. Namun, saat dilakukan pengukuran, hasil menunjukkan temperatur 25°C dan RH 60%.

Soal

- a. Identifikasi kemungkinan penyebab penyimpangan kondisi temperatur dan RH tersebut.
- b. Sebutkan langkah-langkah untuk memastikan akurasi alat pengukur temperatur dan RH.
- c. Jelaskan cara melakukan kalibrasi alat pengukur RH dan temperatur.

4. Kasus 4 - Pengukuran Tekanan Antar Ruang

Pada sistem tekanan diferensial di ruang bersih, tekanan ruang utama harus +10 Pa terhadap koridor. Namun, pengukuran menunjukkan tekanan ruang hanya +5 Pa.

Soal

- a. Sebutkan kemungkinan penyebab rendahnya tekanan diferensial tersebut.
- b. Jelaskan langkah-langkah pemeriksaan alat pengukur tekanan diferensial.
- c. Jelaskan cara memastikan sistem tekanan diferensial bekerja sesuai standar.

D. Catatan Praktik:

1. Selalu gunakan alat pelindung diri (APD) seperti sarung tangan, helm, dan kaca mata pelindung saat melakukan perbaikan.

2. Pastikan prosedur pengamanan diikuti untuk menghindari kecelakaan kerja.
3. Lakukan dokumentasi hasil perbaikan untuk referensi di masa mendatang.
4. Dokumentasikan hasil pengukuran dan kalibrasi untuk memastikan
5. kesesuaian dengan standar operasional.
6. Ikuti panduan teknis dari pabrikan alat ukur untuk perawatan dan kalibrasi.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim (1982). *Operating and Service Manual for CP-42 Cyclotron. The Cyclotron Corporation (TCC)*. California: Computer Technology and Imaging (CTI).

Anonim. (1985). *Operating and Service Manual for CS-30 Cyclotron. The Cyclotron Corporation (TCC)*. California: Computer Technology and Imaging (CTI).

Anonim. (1985). *Maintenance Manual for CS-30 Cyclotron. The Cyclotron Corporation (TCC)*. California: Computer Technology and Imaging (CTI).

Anonim (1996). *Negative Hydrogen Ion Production and Dissociation. The Cyclotron Corporation (TCC)*. California: Computer Technology and Imaging (CTI).

Anonim (2000). *RDS 111 Operating Instructions*. CTI, Inc. 810 Innovation Drive Knoxville, TN 37932 USA.

Anonim (2008). *Log Book Overhaul Siklotron*. Serpong: PRR-BATAN.

Anonim (2009). *Cyclone 18/9 And 18 Twin Series System Description*. Ion Beam Applications (IBA).

Anonim. *Standard Operating Procedure Identifikasi Bahaya, Penilaian, dan Kontrol Resiko (HIRADC)*. Cilacap: PT. Sonni Karya

Ardian, A. *Perawatan dan Perbaikan Mesin*. Yogyakarta: Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UNY.

Ayad, R (2010). *IBA Training Cyclone 18/9*. IBA Customer Services, Ion Beam Applications (IBA)

Garg, H.P. (1997). *Industrial Maintenance*. India: S. Chand & Company Ltd.

Livingood, J.J. (1960). *Argonne National Laboratory, "Principles of Cyclic Particle Accelerators"*. New York: D. Van Nostrand Company.

Ohara, Y. (2000). *Ion Source*, Advanced Radiation Technology Center. Jepang: Takasaki Research Establishment.

Stout, D. (2010). *Cyclotrons & Radiochemistry*. Lecture 2 and 3 Cyclotrons Explained, Eclipse Cyclotron.

Sunarhadijoso S. (1993). *Sistem Keselamatan Siklotron*. Serpong: PPRR-BATAN.

Supandi. (1991). *Manajemen Perawatan Industri*. Bandung: Ganeca Exact

Suryanto, H. (2007). *Prosedur Overhaul Siklotron CS-30 Presentasi Persiapan Pelaksanaan Overhaul Siklotron*. Serpong: PPRR-BATAN.

Suryanto, H. (2008). *Analisis Penyebab Kegagalan Fungsi Operasi Siklotron dan Upaya Pemulihannya*. Presentasi Ilmiah Peneliti Madya. Serpong: PRR-BATAN.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Kunci Jawaban

A. Kunci Jawaban Materi Pokok 2

1. C. Mencegah kerusakan sebelum terjadi
2. A. Komponen sub sistem sumber ion, RF, dan transfer berkas
3. B. Mengidentifikasi penyebab kerusakan
4. C. Data real-time dari sistem kontrol
5. B. Menggantinya sebelum terjadi kerusakan total

B. Kunci Jawaban Materi Pokok 3

1. B. Mengatur transisi otomatis antara PLN dan genset
2. C. Hubungan pendek atau kerusakan sistem
3. B. Memperbaiki faktor daya agar sistem lebih efisien
4. A. Genset menyala → ATS menghubungkan genset ke beban → Beban teraliri listrik dari genset.
5. B. Menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380/220 V

C. Kunci Jawaban Materi Pokok 5

Jawaban Kasus 1 - Mekanik:

1. Kemungkinan Penyebab Kerusakan Mekanik:
 - a. Impeller pompa aus atau retak.
 - b. Poros pompa bengkok.
 - c. Seal mekanik bocor.
 - d. Bantalan (bearing) aus.
2. Langkah-langkah Perbaikan:
 - a. Matikan pompa dan pastikan sistem tidak bertekanan.
 - b. Lepas pompa dari sistem untuk pemeriksaan lebih lanjut.
 - c. Periksa impeller dan poros pompa, ganti jika ada kerusakan.
 - d. Ganti seal mekanik yang bocor.
 - e. Periksa dan ganti bantalan jika diperlukan.
 - f. Pasang kembali pompa, pastikan semua sambungan rapat, dan uji coba untuk memastikan tidak ada kebocoran atau getaran.

3. Peralatan yang Dibutuhkan:
 - a. Kunci pas dan kunci ring.
 - b. Bearing puller.
 - c. Pelumas.
 - d. Seal kit dan spare part pompa.
 - e. Dial gauge untuk memeriksa kesejajaran poros.

Jawaban Kasus 2 - Listrik:

1. Kemungkinan Penyebab Masalah Listrik:
 - a. Overload listrik pada motor.
 - b. Kapasitor start/running rusak.
 - c. Kabel atau terminal listrik longgar atau putus.
 - d. Thermal overload relay trip.
2. Langkah-langkah Pemeriksaan dan Perbaikan:
 - a. Matikan daya dan pastikan sistem tidak teraliri listrik.
 - b. Periksa kabel listrik dan terminal untuk memastikan tidak ada yang putus atau longgar.
 - c. Gunakan multimeter untuk mengukur resistansi kumparan motor (cek kontinuitas).
 - d. Periksa kapasitor menggunakan kapasitansi meter, ganti jika rusak.
 - e. Reset thermal overload relay jika dalam kondisi trip.
 - f. Jika motor terbakar, lakukan penggantian atau rewinding motor.

Jawaban Kasus 3 - Temperatur dan RH:

1. Kemungkinan Penyebab Penyimpangan:
 - a. Alat pengukur tidak terkalibrasi dengan baik.
 - b. Sistem HVAC tidak bekerja optimal, menyebabkan ketidaksesuaian temperatur dan RH.
 - c. Adanya beban panas tambahan di ruangan, seperti peralatan elektronik atau jumlah orang yang lebih banyak.
 - d. Kebocoran udara dari luar ruangan.

2. Langkah-Langkah Memastikan Akurasi:
 - a. Periksa alat pengukur, pastikan dalam kondisi baik dan tidak ada kerusakan fisik.
 - b. Lakukan kalibrasi menggunakan perangkat standar referensi (misalnya hygrometer dan termometer referensi).
 - c. Tempatkan alat pengukur di lokasi strategis dan jauh dari sumber panas atau ventilasi langsung.
3. Cara Kalibrasi Alat Pengukur RH dan Temperatur:
 - a. Gunakan perangkat referensi (kalibrator) seperti salt calibration kit untuk RH atau dry-wet bulb thermometer untuk temperatur.
 - b. Untuk RH, uji alat menggunakan larutan standar seperti larutan garam magnesium klorida (33% RH) atau natrium klorida (75% RH).
 - c. Bandingkan hasil alat dengan standar referensi dan lakukan penyesuaian jika terdapat deviasi.

Jawaban Kasus 4 - Tekanan Antar Ruang:

1. Kemungkinan Penyebab Rendahnya Tekanan:
 - a. Kebocoran udara pada pintu atau celah ruangan.
 - b. Sistem ventilasi yang tidak optimal, seperti kipas exhaust yang terlalu kuat atau suplai udara yang lemah.
 - c. Alat pengukur tekanan diferensial tidak akurat.
2. Langkah-Langkah Pemeriksaan Alat Pengukur Tekanan:
 - a. Periksa alat pengukur tekanan diferensial untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik.
 - b. Gunakan alat referensi seperti manometer digital untuk membandingkan hasil pengukuran.
 - c. Bersihkan port sensor dari debu atau kontaminasi yang dapat memengaruhi pembacaan.
3. Cara Memastikan Sistem Tekanan Diferensial Bekerja Sesuai Standar:
 - a. Pastikan supply air dan exhaust fan pada sistem HVAC berfungsi sesuai kapasitas desain.
 - b. Periksa semua segel pintu dan jendela untuk memastikan tidak ada kebocoran udara.

- c. Uji tekanan diferensial dengan manometer, dan sesuaikan aliran udara menggunakan damper atau pengatur kecepatan kipas jika diperlukan.