

MAKALAH LASER

“Laser Titanium Safir “

Disusun untuk memenuhi tugas akhir mata kuliah Laser dan Optika Modern



*Building
Future
Leaders*

Disusun oleh:

Mega Lialita Maharani

3225122056

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2015

ABSTRAK

Laser Titanium Safir ($\text{Ti} ; \text{Al}_2\text{O}_3$) merupakan jenis laser zat padat tunable. Laser ini dapat dioperasikan pada rentang pita yang lebar ($\Delta\lambda - 400\text{ nm}$), sehingga memberikan lebar pita yang paling besar. Material laser titanium safir dapat dibuat dalam bentuk kontinu (cw) atau pulsa. Dan laser titanium safir banyak digunakan dalam penelitian .

Kata kunci: Laser Titanium Safir ($\text{Ti} ; \text{Al}_2\text{O}_3$), *tunable, kontinu*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT berkat limpahan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, penyusunan makalah tugas akhir mata kuliah laser dan optika modern yang berjudul “Laser Titanium Safir” dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan makalah ini bertujuan untuk memenuhi tugas mata kuliah Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari adanya bimbingan, bantuan, dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.Mangasi Alion Marpaung, M.Si sebagai dosen mata kuliah laser dan optika modern.
2. Kedua orangtua dan keluarga yang telah memberikan semangat selalu
3. Teman-teman seperjuangan Fisika 2012 ,terimakasih atas bantuan dan semangat yang

telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penyusunan makalah ini, baik dalam isi materi, cara penyajian, serta teknik penulisan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak untuk penyempurnaan makalah ini.

Jakarta, Desember 2015

Mega Lialita Maharani

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	1
BAB I PENDAHULUAN	2
A. Latar Belakang	2
B. Identifikasi Masalah	2
C. Pembatasan Masalah	3
D. Perumusan Masalah	3
E. Tujuan Penulisan	3
F. Manfaat Penulisan	3
BAB II KAJIAN TEORI	4
A. Umum	4
1.1. LASER	4
B. Khusus	5
2.1. Laser Titanium Safir	5
2.2 Jenis Laser Titanium Safir	6
2.3 Karakteristik Laser Titanium Safir	8
2.3 Kelebihan dan kekurangan Laser Titanium Safir	11
2.3 Aplikasi Laser Titanium Safir	12
BAB III PENUTUP	13
A. Kesimpulan	13
DAFTAR PUSTAKA	14

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dunia sains dan teknologi yang terus maju dan para ilmuwan mengembangkan suatu konsep terapan yang memanfaatkan terhadap perbesaran suatu intensitas cahaya. Hal ini disebut sebagai LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Laser merupakan suatu alat yang dapat memancarkan cahaya mulai dari panjang gelombang inframerah yang paling jauh, daerah cahaya tampak, sampai pada daerah vakum ultraviolet serta daerah sinar-X. Cahaya yang dipancarkan oleh laser dihasilkan dari stimulasi emisi radiasi dari medium dalam laser. Meningkatnya minat dalam penggunaan laser untuk tujuan pengobatan, membawa dampak kemajuan dalam bidang kedokteran. Pada beberapa penyakit mata, sinar laser digunakan secara rutin untuk koagulasi darah dan memblokir pembuluh darah vena.

Solid-state laser merupakan salah satu jenis laser dan salah satu yang termasuk didalam solid-state laser adalah Laser Titanium Safir. Laser Titanium Safir atau yang dikenal sebbagai Laser $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ adalah laser yang memancarkan cahaya merah dan cahaya inframerah dalam kisaran 650 nm-1100 nm. Laser ini terutama digunakan dalam penelitian ilmiah karena tunability mereka dan kemampuan mereka untuk menghasilkan pulsa ultrashort. Sapphire (monokristalin Al_2O_3) memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, dan dapat mengurangi efek panas bahkan untuk kekuatan intensitas laser yang tinggi .

Berdasarkan pemamparan diatas ,maka dalam penulis ini penulis ingin memaparkan mengenai karakteristik,jenis,mekanisme kerja,kelebihan dan kekurangan serta aplikasi dari Laser Titanium Safir .

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang dapat dirumuskan berdasarkan latar belakang masalah diatas adalah:

- Apa yang dimaksud dengan laser?
- Apa yang dimaksud dengan Laser Titanium Safir?

- Apa saja jenis Laser Titanium Safir?
- Bagaimana karakteristik Laser Titanium Safir?
- Apa saja Kekurangan dan Kelebihan Laser Titanium Safir?
- Dapat diaplikasikan dalam bidang apa saja Laser Titanium Safir?

C. Pembatasan Masalah

Identifikasi masalah dapat dibatasi menjadi:

- Definisi Laser Titanium Safir.
- Jenis Laser Titanium Safir
- Karakteristik Laser Titanium Safir
- Aplikasi Laser Titanium Safir dalam kehidupan sehari-hari.

D. Perumusan Masalah

- “Bagaimana Karakteristik Titanium Safir ?”

E. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan makalah ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui mekanisme karakteristik Titanium Safir.
- Mengetahui aplikasi Laser Titanium Safir

F. Manfaat Penulisan

- Penulisan makalah ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pembelajaran mengenai ilmu laser, terutama dalam jenis Laser Titanium Safir

BAB II KAJIAN TEORI

A. Umum

1.1. LASER

Laser merupakan singkatan dari Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation. Laser merupakan suatu alat yang dapat memancarkan cahaya mulai dari panjang gelombang inframerah yang paling jauh, daerah cahaya tampak, sampai pada daerah vakum ultraviolet serta daerah sinar-X. Cahaya yang dipancarkan oleh laser dihasilkan dari stimulasi emisi radiasi dari medium dalam laser. Emisi tersebut dikuatkan sehingga menghasilkan cahaya bersifat monokromatis (satu panjang gelombang), koheren, terarah, dan memiliki kecerahan (*brightness*) yang tinggi.

Emisi radiasi dirangsang ketika atom-atom dibangkitkan ke dalam sifat energi dasar dalam ground. Atom-atom penguat harus lebih dibangkitkan ke level energy tertinggi untuk menghasilkan inverse populasi yang berkaitan dengan jumlah atom pada level menengah. Pembangkitan atom-atom tersebut distimulasikan untuk merusak secara koheren pada tingkat energi menengah sehingga kuat radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang sesuai dengan energi GAP yang dihasilkan.

Ada berbagai jenis laser. Medium laser bisa padat, gas, cair atau semikonduktor. Laser biasanya ditentukan oleh jenis bahan yang digunakan oleh penguatnya

- Solid-state laser material telah dikuatkan terdistribusi dalam matriks padat (seperti ruby atau neodmium: yttrium-aluminium garnet laser yag). Laser neodmium-yag memancarkan cahaya inframerah pada 1.064 nanometer (nm).
- Laser Gas (helium dan helium-neon, hene, merupakan laser gas yang paling umum) memiliki output utama dari lampu inframerah. CO₂ laser memancarkan energi jauh di inframerah, dan digunakan untuk memotong material keras.
- Laser Excimer (nama ini berasal dari istilah excited dan dimers) menggunakan gas reaktif, seperti klorin dan fluorin, dicampur dengan gas inert seperti argon, kripton atau xenon. Ketika elektrik dirangsang, molekul pseudo (dimer). Ketika laser, dimer menghasilkan cahaya dalam kisaran ultraviolet.

- Dye laser menggunakan pewarna organik kompleks, seperti rhodamine 6g, dalam larutan cair atau suspensi sebagai media penguat.
- Semiconductor laser, kadang-kadang disebut dioda laser, laser yg tidak solid-state. Perangkat elektronik yg menggunakan ini umumnya sangat kecil dan menggunakan daya yang rendah. Mereka dapat dibangun menjadi array yang lebih besar, seperti sumber penulisan dalam beberapa printer laser atau CD player.^[2]

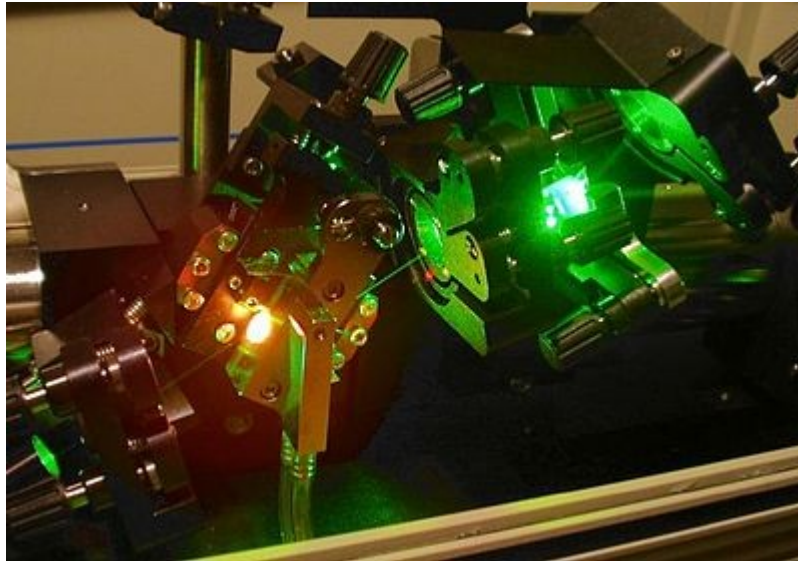
Dalam hal ini Laser Tittanium Sapphire termasuk ke dalam jenis Solid-State Laser .

B. Khusus

2.1 Laser Titanium Safir

Laser Titanium Safir pertama kali dikenal pada tahun 1982, Laser Titanium Safir atau yang dikenal sebbagai Laser Ti: Al₂O adalah laser yang memancarkan cahaya merah dan cahaya inframerah dalam kisaran 650 nm-1100 nm. Laser ini terutama digunakan dalam penelitian ilmiah karena tunability mereka dan kemampuan mereka untuk menghasilkan [pulsa ultrashort](#). Sapphire (monokristalin Al₂O₃) memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, dan dapat mengurangi efek panas bahkan untuk kekuatan intensitas laser yang tinggi .

Titanium Safir mengacu pada [media penguat](#), kristal [safir](#) (Al₂O₃) yang diolah dengan ion [titanium](#) . Laser Titanium Safir biasanya [dipompa](#) dengan laser yang lain dengan panjang gelombang 514-532 nm, diantaranya seperti laser argon dengan panjang gelombang (514,5 nm) dan [frekuensi-dua kali lipat Nd: YAG, Nd: YLF](#), dan Nd: laser YVO (527- 532 nm) .Laser Titanium Safir akan beroperasi paling efisien pada panjang gelombang sekitar 800 nm.



Gambar 2.1. Bagian dari Tsunami Ti: sapphire oscillator. Kristal Ti: Sapphire adalah sumber cahaya terang merah yang berada di sebelah kiri. Lampu hijau adalah berasal dari pompa

2.2 Jenis-jenis Laser Titanium Safir

Jenis Laser Titanium Safir diantaranya adalah sebagai berikut:

Osilator mode terkunci

Osilator mode-terkunci pada laser titanium sapphire akan menghasilkan [pulsa ultrashort](#) dengan durasi khas antara beberapa [picoseconds](#) dan 10 [femtosekon](#), dalam kasus khusus bahkan sekitar 5 femtosekon. Pengulangan [frekuensi](#) pulsa dalam banyak kasus sekitar 70 hingga 90 mhz. Osilator titanium sapphire biasanya dipompa dengan sinar laser gelombang kontinyu dari argon atau frekuensi-dua kali lipat [Nd: YVO4](#) laser. Biasanya, osilator seperti memiliki daya output rata-rata 0,5 sampai 1,5 [watt](#).

Amplifier chirped-pulsa

Perangkat ini menghasilkan [ultrashort](#), pulsa ultra-tinggi dengan intensitas durasi 20 sampai 100 femtosekon. Sebuah penguat khas satu tahap dapat menghasilkan pulsa hingga 5 [millijoules](#) energi pada pengulangan frekuensi 1000 [hertz](#), sedangkan yang lebih besar, fasilitas multistage dapat menghasilkan pulsa hingga beberapa [joule](#), dengan tingkat pengulangan hingga 10 Hz. Biasanya, amplifier kristal dipompa dengan frekuensi dua kali

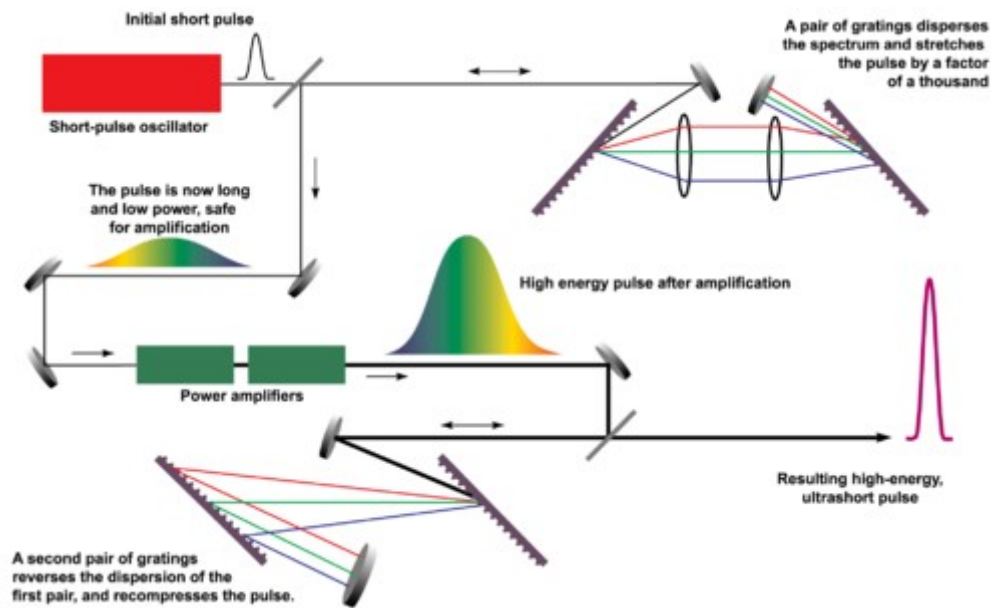
lipat-berdenyut [Nd: YLF](#) laser pada 527 nm dan 800 nm beroperasi pada. Dua desain yang berbeda ada untuk penguat: amplifier regeneratif dan multi-pass amplifier.

Amplifier regeneratif beroperasi dengan memperkuat pulsa tunggal dari sebuah osilator. Dalam keadaan normal [rongga](#) dengan cermin sebagian reflektif, mengandung kecepatan tinggi switch optik yang memasukkan pulsa ke rongga dan mengambil pulsa dari rongga tepat pada saat ketika telah diperkuat dengan intensitas tinggi.

Istilah 'chirped -pulse' sendiri mengacu pada konstruksi khusus yang diperlukan untuk mencegah pulsa agar tidak merusak komponen di laser. Pulsa ditarik dalam waktu sehingga energi tersebut tidak semua terletak dalam ruang dan waktu pada titik yang sama. Hal ini untuk mencegah kerusakan pada optik dalam penguat. Kemudian pulsa optik diperkuat dan recompressed dalam waktu untuk membentuk pulsa ultrashort. Setelah titik ini semua optik harus dipilih dengan mempertimbangkan kepadatan energi yang tinggi .

Dalam multi-pass amplifier, tidak ada switch optik. Sebaliknya, cermin memandu balok tetap dengan jumlah (dua atau lebih) melalui kristal Ti: Sapphire dengan arah yang sedikit berbeda. Sebuah sinar pompa berdenyut juga bisa multi-melewati kristal, sehingga semakin banyak melewati pompa kristal. Pertama balok pompa tempat di media gain. Kemudian balok sinyal pertama melewati pusat untuk amplifikasi maksimal, namun di kemudian melewati diameter meningkat untuk tetap di bawah batas , untuk menghindari kerusakan amplifikasi bagian luar balok, sehingga meningkatkan kualitas balok dan memotong beberapa emisi spontan diperkuat dan untuk benar-benar menguras inversi di media gain.

Amplifier chirped-pulsa sering dikonversi ke panjang gelombang lain melalui berbagai [optik nonlinier](#) . Pada 5 mJ di 100 femtosekon, intensitas puncak laser tersebut adalah 50 gigawatt per sentimeter persegi. ^[2] Ketika difokuskan oleh lensa, pulsa laser ini akan mengionisasi materi dan ditempatkan di fokus, termasuk molekul udara.



Gambar 2.2 Skema diagramatic amplifikasi chirped pulsa .

Tunable laser gelombang kontinyu

Titanium-safir sangat cocok untuk laser berdenyut ,sejak [pulsa ultrashort](#) inheren mengandung spektrum frekuensi yang luas dari komponen. Hal ini disebabkan hubungan terbalik antara bandwidth frekuensi denyut nadi dan durasi waktu, karena mereka menjadi [variabel konjugasi](#). Namun, dengan desain yang sesuai, titanium-safir juga dapat digunakan dalam laser gelombang kontinyu

2.3 Karakteristik Laser Titanium Safir

Titanium-doped safir (Ti^{3+} : sapphire) adalah media gain yang banyak digunakan transisi-logam yang diolah untuk laser tunable dan femtosecond laser solid-state. Saat itu diperkenalkan pada tahun 1986 [1], dan setelah itu laser tittanium digantikan cepat dengan laser dye, yang sebelumnya telah mendominasi bidang generasi pulsa ultrashort dan laser luas panjang gelombang-tunable. Laser tittanium sapphire nyaman digunakan misalnya untuk memompa pengaturan uji laser solid-state baru (misalnya berdasarkan media keuntungan neodmium- atau ytterbium-doped), karena mereka dengan mudah dapat disetel untuk panjang gelombang pompa yang diperlukan dan memungkinkan seseorang untuk bekerja dengan pompa kecerahan sinar sangat tinggi dengan kualitas dan daya output tinggi yang biasanya beberapa watt.

- Sifat Ti: sapphire :

Property	Value
Chemical formula	$\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$
Crystal structure	hexagonal
Mass density	3.98 g/cm^3
Mohs hardness	9
Young's modulus	335 GPa
Tensile strength	400 MPa
Melting point	2040°C
Thermal conductivity	33 W/(m K)
Thermal expansion coefficient	$\approx 5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Thermal shock resistance parameter	790 W/m
Birefringence	negative uniaxial
Refractive index at 633 nm	1.76
Temperature dependence of refractive index	$13 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Excited state density for 0.1% at. doping	$4.56 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
Spontaneous lifetime	$3.2 \mu\text{s}$
Emission cross section at 790 nm	$41 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$

Gambar 2.3 Sifat khusus dari Ti: medium gain safir (lihat juga Tabel 1) adalah:

- Sapphire (monocrystalline Al_2O_3) memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, mengurangi efek panas bahkan untuk kekuatan intensitas laser yang tinggi.
- Ion Ti^{3+} memiliki keuntungan bandwidth yang sangat besar (jauh lebih besar daripada doped tanah jarang), yang memungkinkan generasi pulsa sangat pendek dan juga lebar tunability panjang gelombang (biasanya menggunakan tuner birefringent). Keuntungan lainnya efisiensi lasernya maksimum diperoleh sekitar 800 nm. Berbagai kemungkinan tuning $\approx 650 \text{ nm}$ sampai 1100 nm , tetapi set cermin yang berbeda biasanya diperlukan untuk menutupi berbagai besar ini. (Jumlah set cermin diperlukan dapat dikurangi dengan menggunakan ultrabroadband chirped cermin.)

- Ada juga berbagai kemungkinan pompa panjang gelombang, yang bagaimanapun berada di wilayah spektral hijau, di mana dioda laser kuat tidak tersedia. Dalam kebanyakan kasus, beberapa watt daya pompa yang digunakan, kadang-kadang bahkan 20 W. Awalnya laser titanium sapphire dalam banyak kasus dipompa dengan laser ion argon 514 nm, yang kuat, tapi sangat tidak efisien, mahal untuk beroperasi. Jenis lain dari laser hijau yang sekarang tersedia, dan laser solid-state frekuensi-dua kali lipat adalah media gain neodimium-doped banyak digunakan. Pompa dengan panjang gelombang 532 nm maka biasanya, dengan efisiensi penyerapan pompa sedikit berkurang dibandingkan dengan 514 nm.
- Batas atas kehidupan laser titanium sapphire pendek (3,2 mikrodetik), dan daya saturasi sangat tinggi. Ini berarti bahwa intensitas pompa harus tinggi, sehingga sinar pompa sangat terfokus dan dengan demikian sumber pompa dengan kualitas balok tinggi diperlukan.
-
- Meskipun bandwidth emisi besar titanium sapphire memiliki penampang laser yang relatif tinggi, yang mengurangi kecenderungan laser titanium sapphire untuk Q-switching ketidakstabilan.

Titanium Sapphire mungkin mengandung beberapa jumlah ion Ti^{4+} yang tidak diinginkan, yang menyebabkan penyerapan parasit dan dengan demikian hilangnya efisiensi laser. Hal ini penting untuk mengoptimalkan teknik fabrikasi sehingga isi Ti^{4+} diminimalkan.

- Generasi Pulsa

Ultrashort pulsa dari laser titanium sapphire dapat dihasilkan dengan penguncian mode pasif, biasanya dalam bentuk penguncian modus lensa Kerr (KLM). Kombinasi dengan sebuah Sesam memungkinkan untuk dapat diandalkan dari awal proses generasi pulsa. Sebuah durasi pulsa sekitar 100 fs mudah dicapai dan untuk perangkat khas komersial. Namun, bahkan jangka waktu yang pulsa sekitar 10 fs yang mungkin untuk perangkat komersial, dan pulsa terpendek diperoleh di laboratorium penelitian memiliki jangka waktu sekitar 5,5 fs [8,9]. Untuk kinerja tinggi seperti penting untuk memperkenalkan kompensasi dispersi yang sangat tepat misalnya dengan double-chip cermin.

Kekuatan output khas modus-terkunci laser tittanium sapphire sekitar 0,3-1 W, sedangkan versi gelombang kontiyu kadang-kadang menghasilkan beberapa watt. Sebuah pengulangan denyut nadi yang khas adalah 80 MHz, tapi perangkat dengan tingkat pengulangan multi-gigahertz juga tersedia secara komersial, yang dapat digunakan misalnya sebagai sumber sisir frekuensi. Untuk metrologi optik laser tittanium sapphire sangat penting frekuensi dengan ultrabroad (oktaf-spanning) spektrum optik [11, 12].

Jika persyaratan dalam hal durasi pulsa dan output daya yang kurang ketat, Laser tittanium sapphire dapat digantikan dengan Cr: LiSAF atau Cr: LiCAF laser, yang dapat dipompa pada lagi panjang gelombang merah, di mana tersedia dioda laser. Dalam kasus lain, laser serat juga dapat digunakan.

Tittanium Sapphire juga sering digunakan untuk amplifier multi-pass dan amplifier regeneratif. Terutama dengan amplifikasi chirped-pulsa, perangkat tersebut dapat mencapai besar kekuatan puncak output dari beberapa terawatts, atau di fasilitas besar bahkan petawatts. Kekuatan besar seperti menarik untuk optik nonlinier dalam rezim ekstrim, misalnya untuk generasi harmonik tinggi, tetapi juga untuk penelitian fusi nuklir.

- Konversi Frekuensi

Konversi frekuensi nonlinier dapat digunakan untuk memperluas lebih lanjut kisaran panjang gelombang emisi dari laser tittanium sapphire. Kemungkinan yang paling sederhana adalah frekuensi dua kali lipat untuk mengakses biru, ultraviolet dan daerah spektral hijau. Pendekatan lain adalah untuk memompa parametrik osilator optik, menawarkan tuning berbagai di dekat-atau pertengahan inframerah daerah spektral.

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Laser Titanium Safir

Solid-state laser adalah laser yang menggunakan zat padat sebagai mediumnya. Salah satu solid-state laser adalah laser titanium safir. Kelebihan laser titanium safir digunakan untuk pengukur jarak pada militer, selain itu laser titanium safir juga banyak digunakan dalam penelitian. Kekurangan Laser Titanium Safir adalah jarang digunakan dalam industri, terutama karena efisiensi yang rendah dan tingkat pengulangannya rendah.

2.5 Aplikasi Laser Titanium Safir

Laser ini terutama digunakan dalam penelitian ilmiah karena tunability mereka dan kemampuan mereka untuk menghasilkan [pulsa ultrashort](#). Sapphire (monokristalin Al_2O_3) memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, dan dapat mengurangi efek panas bahkan untuk kekuatan intensitas laser yang tinggi .

BAB III

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari permasalahan-permasalahan yang telah dibahas dalam makalah ini adalah:

- Laser Titanium Safir merupakan laser tunable dan femtosecond laser solid-state.

- Laser ini Titanium Safir terutama digunakan dalam penelitian ilmiah karena tunability mereka dan kemampuan mereka untuk menghasilkan [pulsa ultrashort](#). Sapphire (monokristalin Al_2O_3) memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, dan dapat mengurangi efek panas bahkan untuk kekuatan intensitas laser yang tinggi .

• DAFTAR PUSTAKA

-
-
-
-
- Tan, Kee Lee. 2006. *What You Need to Know about Laser*. Jakarta: Hotel Mulia 13 Juli 2006.
- Clive, Barnes. 2001. *Copper Applications in Innovative Technology*. CRC Press
- Pikatan, Sugata. 1991. *LASER*. Surabaya: Seminar intern FT. Ubaya Januari 1991.
- P. Albers *et al.*, "Continuous-wave laser operation and quantum efficiency of titanium-doped sapphire", [J. Opt. Soc. Am. B 3 \(1\), 134 \(1986\)](#)
-

• Pustaka hasil unduhan:

- Moulton, P. F. (1986). "Spectroscopic and laser characteristics of Ti:Al₂O₃". *Journal of the Optical Society of America B* 3 (1): 125–133. [Bibcode:1986JOSAB...3..125M](#), [doi:10.1364/JOSAB.3.000125](#).
- [Jump up](#) Erny, Christian; Hauri, Christoph P. (2013). "Design of efficient single stage chirped pulse difference frequency generation at 7 μ m driven by a dual wavelength Ti:sapphire laser". *Applied Physics B* 117 (1): 379–387. [arXiv:1311.0610](#). [Bibcode:2014ApPhB.117..379E](#). [doi:10.1007/s00340-014-5846-6](#). [line feed character in |title= at position 68 \(help\)](#)
- Encyclopedia of Laser Physics and Technology: https://www.rp-photonics.com/chirped_pulse_amplification.html
- [Jump up](#) G. E. Cook, "Pulse Compression-Key to More Efficient Radar Transmission", *IEEE Proc. IRE* 48, 310 (1960)
- [Jump up](#) D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* 56, 219 (1985)
-

•